

Verbesserung der Wirkung und Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen durch Berücksichtigung der Anforderungen an den Fahrer

Von der Fakultät für Lebenswissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades einer
Doktorin der Naturwissenschaften

(Dr. rer. nat.)

genehmigte

D i s s e r t a t i o n

von Astrid Frauke Kassner

aus Braunschweig

1. Referent:	Professor Dr. Mark Vollrath
2. Referent:	Professor Dr. Dirk Vorberg
eingereicht am:	11.10.2010
mündliche Prüfung (Disputation) am:	18.02.2011

Druckjahr 2011

Vorveröffentlichungen der Dissertation

Teilergebnisse aus dieser Arbeit wurden mit Genehmigung der Fakultät für Lebenswissenschaften, vertreten durch den Mentor der Arbeit, in folgenden Beiträgen vorab veröffentlicht:

Publikationen

Kassner, Astrid; Vollrath, Mark (2006): Akzeptanzmessung als Baustein für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen. In: VDI-Gesellschaft [Hrsg.]: Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme (VDI-Berichte 1960), VDI-Berichte, 1960, VDI Verlag GmbH, S. 97 - 112, ISBN 3-18-091960-4, ISSN 0083-5560

Kassner, Astrid (2007): Was Fahrer wollen: Information, Warnung oder Eingriff. In: Rötting, Matthias; Wozny, Günther; Klostermann, Anne; Huss, Jörg [Hrsg.]: Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme vom 10. bis 12. Oktober 2007 (ZMMS Spektrum Band 21), Fortschritt-Berichte, 25, VDI, 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin, 2007-10-10 - 2007-10-12, ISBN 978-3-18-302522-0, ISSN 1439-958X

Kassner, Astrid (2007): Fahren im Nebel: Soll der Assistent für Sie sehen oder bremsen? In: Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI Berichte, 2015, VDI Verlag GmbH, S. 263 - 269, Fahrer im 21. Jahrhundert, Human Machine Interface, Braunschweig, 2007-11-14 - 2007-11-15, ISBN 978-3-18-092015-3, ISSN 0083-5560

Kassner, Astrid (2008): Meet the Driver Needs by Matching Assistance Functions and Task Demands. In: Brusque, Corinne [Ed.]: European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems, HUMANIST Publications, European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems, Lyon, Frankreich, 2008-04-03 - 2008-04-04, ISBN 978-2-9531712-0-4

Tagungsbeiträge

Kassner, A. (2005). Möglichkeiten zur Ableitung und Überprüfung von Assistenzbedarf in Kraftfahrzeugen. 2. Nachwuchsworkshop der Fachgruppe Arbeits- und Organisationspsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, 25.-27. Februar 2005. Jena

Kassner, Astrid; Vollrath, Mark (2006): Informieren, warnen, eingreifen: situationsadaptive Assistenz für den Fahrer. TeaP, 48. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, 26.03.-29.03.2006, Mainz

Kassner, Astrid (2006): Optimale Unterstützung des Fahrers durch adaptive Fahrerassistenz. Doktorandenkolloquium, Chemnitz, 2006-11-30 - 2006-12-01

Kassner, Astrid (2007): Optimale Unterstützung des Fahrers durch Adaptive Fahrerassistenzsysteme. In: Wender, Karl F.; Mecklenbräuker, Silvia; Rey, Günter Daniel; Wehr, Thomas [Hrsg.]: Beiträge zur 49. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, Pabst Science Publishers, 49. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, Trier, 2007-03-26 - 2007-03-28, ISBN 978-3-89967-371-5

Kassner, Astrid (2007): Anpassung von FAS an die Situation. 1. Doktorandenworkshop der Fachgruppe Verkehrspsychologie, Braunschweig, Germany, 2007-10-23 - 2007-10-24

Kassner, Astrid (2008): Meet the Driver Needs by Matching Assistance Functions and Task Demands. In: Elsevier; Old Dominion University [Hrsg.]: 4th International Conference on Traffic & Transport Psychology - Abstract Book, Elsevier, 4th International Conference on Traffic & Transport Psychology (ICTTP 2008), Washington D.C., USA, 2008-08-31 - 2008-09-04

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit im Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR und wurde als Promotionsvorhaben von der Technischen Universität Braunschweig betreut.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen Personen bedanken, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Ganz besonders danke ich Herrn Prof. Dr. Mark Vollrath für die Betreuung der Arbeit als Doktorvater. Seine Unterstützung durch zahlreiche Fachdiskussionen und viele Anregungen hat wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Mein herzlicher Dank gilt außerdem Herrn Prof. Dr. Dirk Vorberg für die konstruktive und wohlwollende Co-Betreuung der Arbeit und die Übernahme des Prüfungsvorsitzes. Ich bedanke mich außerdem herzlich bei Herrn Prof. Dr. Karsten Lemmer für die Möglichkeit, diese Arbeit beim DLR durchzuführen und seine Bereitschaft als Fachprüfer tätig zu werden.

Ebenso möchte ich mich ganz herzlich bei allen Kollegen, Diplomanden und Praktikanten beim DLR für die tolle Unterstützung bei der technischen Umsetzung der Studien und bei der Datenerhebung bedanken. Hier sind insbesondere zu nennen: Dipl.-Wirtschaftspsych. Julia Werneke, die im Rahmen ihrer Diplomarbeit die Akzeptanz der Assistenzsysteme in Studie 3 untersucht hat, sowie Dr. Martin Baumann, Dipl.-Psych. Susanne Schleicher und Dr. Caroline Schießl, die die Arbeit Korrektur gelesen und hilfreiche Kommentare gegeben haben.

Mein Dank gilt außerdem Herrn Prof. Dr. Heiner Erke, der mich während des Studiums für die Verkehrspsychologie begeisterte und der leider viel zu früh verstorben ist.

Nicht zuletzt bin ich meinen Eltern, meinen Freunden und vor allem meinem Ehemann Olaf für die stete und liebevolle Unterstützung dankbar.

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	7
I Theoretischer Teil.....	9
1 Psychologische Modelle als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen	10
1.1 Funktionsallokation	10
1.2 Aufgabenanforderungen	14
1.3 Fazit und Fragestellung der Arbeit	15
2 Literaturrecherche	17
2.1 Durchführung der Literaturrecherche	17
2.2 Ergebnisse der Literaturrecherche zur Querverkehrsassistenz	18
2.3 Ergebnisse der Literaturrecherche zur Längsverkehrsassistenz	28
2.4 Fazit zur Literaturrecherche	46
2.5 Methodische Erfordernisse der eigenen Untersuchung	48
II Empirischer Teil.....	50
3 Methode	50
3.1 Variation der Assistenzfunktionen	50
3.2 Variation der Aufgabenanforderungen	51
3.3 Beschreibung der Versuchsumgebung	53
3.4 Messung der abhängigen Variablen	55
4 Längsverkehr bei erschwelter Handlungsplanung: Studie 1	57
4.1 Methode	57
4.1.1 Aufgabe	57
4.1.2 Assistenzsysteme	58
4.1.3 Versuchspersonen	61
4.1.4 Versuchsplan und -ablauf	62
4.1.5 Strecke	62
4.1.6 Fragebogen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen	63
4.1.7 Fragebogen zur Akzeptanzbewertung	63
4.2 Ergebnisse	63
4.2.1 Manipulationskontrolle	64
4.2.2 Bewertung der Aufgabenanforderungen in den Versuchsbedingungen	66
4.2.3 Fahrdaten	67
4.2.4 Physiologische Beanspruchungsmessung	82
4.2.5 Akzeptanzbeurteilungen der Assistenzsysteme	83
4.3 Diskussion	91
5 Längsverkehr bei erschwelter Informationsaufnahme: Studie 2	94
5.1 Methode	94
5.1.1 Aufgabe	94
5.1.2 Assistenzsysteme	95
5.1.3 Versuchspersonen	98
5.1.4 Versuchsplan und -ablauf	98
5.1.5 Strecke	99
5.1.6 Fragebogen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen	99
5.1.7 Fragebogen zur Akzeptanzbewertung	100
5.1.8 Interviewleitfaden	100
5.2 Ergebnisse	100
5.2.1 Manipulationskontrolle	100

5.2.2	Bewertung der Aufgabenanforderungen in den Versuchsbedingungen	104
5.2.3	Fahrdaten	105
5.2.4	Physiologische Beanspruchungsmessung	116
5.2.5	Akzeptanzbeurteilungen der Assistenzsysteme	117
5.3	Diskussion	127
6	Querführung bei erschwerter Handlungsausführung: Studie 3	131
6.1	Methode	131
6.1.1	Aufgabe	131
6.1.2	Assistenzsysteme	132
6.1.3	Versuchspersonen	134
6.1.4	Versuchsplan und -ablauf	135
6.1.5	Strecke	135
6.1.6	Fragebogen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen	136
6.1.7	Fragebogen zur Akzeptanzbewertung	136
6.2	Ergebnisse	136
6.2.1	Manipulationskontrolle	137
6.2.2	Bewertung der Aufgabenanforderungen in den Versuchsbedingungen	139
6.2.3	Fahrdaten	140
6.2.4	Physiologische Beanspruchungsmessung	146
6.2.5	Akzeptanzbeurteilungen der Assistenzsysteme	147
6.3	Diskussion	154
7	Querführung bei erschwerter Informationsaufnahme: Studie 4	158
7.1	Methode	158
7.1.1	Aufgabe	158
7.1.2	Assistenzsysteme	159
7.1.3	Versuchspersonen	162
7.1.4	Versuchsplan und -ablauf	163
7.1.5	Strecke	163
7.1.6	Fragebogen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen	164
7.1.7	Fragebogen zur Akzeptanzbewertung	164
7.1.8	Interview zur Nutzung der Assistenzsysteme	164
7.2	Ergebnisse	165
7.2.1	Manipulationskontrolle	165
7.2.2	Bewertung der Aufgabenanforderungen in den Versuchsbedingungen	170
7.2.3	Fahrdaten	171
7.2.4	Physiologische Beanspruchungsmessung	179
7.2.5	Akzeptanzbeurteilungen der Assistenzsysteme	180
7.3	Diskussion	186
8	Gesamtdiskussion	190
8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	191
8.2	War die mit den Anforderungen abgestimmte Assistenzfunktion immer die wirksamste Assistenzfunktion?	193
8.3	Fazit: Ist eine Abstimmung der Assistenzfunktion mit den Aufgabenanforderungen sinnvoll?	200
8.4	Methodische Aspekte bei Untersuchungen zur Wirkung von Fahrerassistenzsystemen	202
8.5	Inhaltliche Aspekte bei der Funktionsgestaltung von Fahrerassistenzsystemen	203
9	Literaturverzeichnis	206

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

ABS	Antiblockiersystem
ACC	Adaptive Cruise Control
AS	Active Steering
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
DHW	Distance Headway
ESP	Elektronisches Stabilitäts-Programm
FOT	Field Operational Test
HC	Heading Control
HMI	Human Machine Interface
HUD	Head-up Display
IBI	Interbeat Interval
ISA	Intelligent Speed Adaptation
LF	Längsführung
LM	Lenkmoment
LOA	Level of Automation
NASA-TLX	NASA Task Load Index
QF	Querführung
TCI	Task-Capability Interface
THW	Time Headway
TLC	Time to Line Crossing
TTC	Time to Collision

I Theoretischer Teil

Aufgrund einer immer höheren Verkehrsbelastung werden die Wechselbeziehung zwischen den Verkehrselementen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt immer wichtiger und die Anforderungen an die Fahrer steigen. Fahrerassistenzsysteme sollen den Fahrer bei der Bewältigung der Fahraufgabe unterstützen und werden bei der Fahrzeugentwicklung daher zunehmend bedeutsamer. Durch die Unterstützung des Fahrers sollen vor allem eine erhöhte Verkehrssicherheit und ein Zugewinn an Fahrkomfort erreicht werden. Während in der Vergangenheit vielfach Systeme für die Erhöhung der passiven Sicherheit entwickelt wurden, scheinen die Grenzen der passiven Sicherheit bald erreicht, und der Fokus verschiebt sich zunehmend auf aktive Systeme (Rabe, 2004). Während passive Systeme (z.B. Airbags) vor allem die Unfallfolgen mindern sollen, haben aktive Systeme das Ziel, Unfälle bereits im Vorfeld zu verhindern. Gleichzeitig werden immer mehr Assistenzsysteme entwickelt, die den Fahrer nicht nur auf der automatisch auszuführenden Stabilisierungsebene (z.B. ABS, ESP) unterstützen, sondern auch auf den Ebenen der Bahnführung und Navigation. Diese Differenzierung der Fahrzeugführung anhand der 3 Regulationsebenen nach Donges (1978) beinhaltet auf der obersten Ebene die Navigationsebene, auf der der Fahrer über seine Fahrtroute entscheidet. Auf der mittleren Ebene - der Bahnführungsebene – interagiert der Fahrer mit anderen Verkehrsteilnehmern, während auf der untersten Ebene, der sogenannten Stabilisierungsebene, der Fahrer durch Gas, Bremse und Lenkung mit seinem Fahrzeug interagiert, um dieses auf der Straße zu halten. Assistenzsysteme wie ABS und ESP unterstützen den Fahrer vorwiegend auf der automatisch auszuführenden Stabilisierungsebene und funktionieren gut, weil sie kaum etwas über andere Verkehrsteilnehmer, deren Absichten oder den Fahrer wissen müssen. Hingegen unterstützen die neueren Fahrerassistenzsysteme wie beispielsweise Adaptive Cruise Control (ACC) oder Spurverlassenswarner auf der mittleren Manöverebene und benötigen daher genauere Kenntnisse über die beteiligten Faktoren Fahrzeug, Umwelt und den eigenen Fahrer. Bei Aufgaben auf dieser Ebene sind zudem bewusste kognitive Prozesse des Fahrers stärker involviert, so dass sich durch Assistenzsysteme das Fahren auch für den Fahrer deutlich verändert. Künftig wird deshalb die Interaktion zwischen Mensch und Maschine und die gemeinsame Lösung der Aufgabe „Fahren“ immer wichtiger werden und die Akzeptanz der Fahrerassistenzsysteme durch den Fahrer eine wichtige Voraussetzung für den Kauf eines Systems sein.

Fahrerassistenzsysteme sind bereits seit einiger Zeit auf dem Markt erhältlich. Beispielsweise wurde das ACC Ende der 1990er Jahre eingeführt, Spurhalte-Assistenten gibt es seit 2005. Trotz der Sicherheitsvorteile sind die Ausstattungsrate und die Akzeptanz nach wie vor gering (Färber, 2006). So wurde die Ausstattungsrate des ACC für 2008 mit 50 – 60 % und die des Spurhalte-Assistenten mit 10 – 20 % im Oberklasse-Segment prognostiziert (Mercer, 2004), das aber nur ca. 1.5 % aller Neuzulassungen ausmacht (Zahl der Neuzulassungen für Juni 2007, Kraftfahrt-Bundesamt). Eine mögliche Ursache für die noch unzureichende Akzeptanz der Systeme könnte darin liegen, dass den Autofahrern der Nutzen der Systeme oder ihre Funktionsweise nicht klar ist. Die Namen der Systeme kennen zwar viele Autofahrer, aber nur wenige Fahrer können die Funktion korrekt beschreiben (Spiegel-Institut, 2003). Bislang stand bei der Entwicklung der Assistenzsysteme die notwendige Technik (Sensorik und Aktorik) im Vordergrund (z.B. Radarsensoren zur Erkennung der Nachbarspur), die die Funktionsweise der Assistenz weitgehend bestimmte (Beier, Boemak & Renner, 2001). Je komplexer diese Systeme jedoch werden und je mehr Fahrmanöver damit unterstützt werden können, um so wichtiger wird es, den genauen Bedarf des Fahrers nach Unterstützung

frühzeitig bei der Entwicklung von Assistenzsystemen zu berücksichtigen (Schierge, 2005). Eine Abstimmung der Funktion eines Fahrerassistenzsystems mit den Anforderungen, die sich dem Fahrer in einer Fahrsituation stellen, könnte daher eine Möglichkeit zur Verbesserung der Wirkung und der Akzeptanz eines Systems darstellen. Diese Annahme soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

1 Psychologische Modelle als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen

Fahrerassistenzsysteme übernehmen einen Teil der Fahraufgabe für den Fahrer und stellen dadurch ein Beispiel für Mensch-Maschine-Systeme dar. Diese Systeme sind dadurch definiert, dass eine oder mehrere Personen mit einer oder mehreren technischen Komponenten zur Erfüllung eines fremd- oder selbstgesteuerten Auftrages zielgerichtet zusammenwirken (Timpe & Kolrep 2000). Der Begriff der Maschine – oftmals auch als Automation bezeichnet – ist dabei weit gefasst und kann konkrete Geräte oder abstrakte technische Komponenten umfassen. In Abgrenzung zu passiven technischen Systemen wie beispielsweise einer Büroklammer ist für Mensch-Maschine-Systeme charakteristisch, dass eine Interaktion zwischen Mensch und Maschine stattfindet. Dieses bedeutet, dass der Nutzer als „input“ die Aufgabenziele vorgibt, dass er die Maschine kontrolliert und dass er als „output“ Informationen, Energie, Substanzen oder Ähnliches von der Maschine erhält (Wandke 2005, Sheridan & Parasuraman 2006).

Eine technologisch inspirierte Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen kann die Entwicklung neuer Technologien wie beispielsweise bestimmter Sensoren anregen und deren Integration in einem neuen Fahrerassistenzsystem fördern. Eine Beschränkung der Entwicklung neuer Systeme auf eine rein technische Umsetzung verbunden mit der Hoffnung, dass sich der Nutzer an das System anpasst, kann allerdings katastrophale Folgen haben (Sheridan & Parasuraman 2006). Stattdessen sollten mit Beginn des Entwicklungsprozesses auch nutzer-bezogene Fragen berücksichtigt werden, da der Nutzer sehr eng mit dem Fahrerassistenzsystem kooperiert und der Systemzweck in erster Linie darin besteht, dem Nutzer die Aufgabe zu erleichtern. Die Psychologie kann hier einen Beitrag bei der Entwicklung von Assistenzsystemen leisten, indem sie beispielsweise anhand psychologischer Modelle und empirischer Untersuchungen aufzeigt, wann Fahrer Unterstützung bei der Bewältigung der Fahraufgabe benötigen und wie diese Unterstützung funktional und gestalterisch umgesetzt werden sollte.

1.1 Funktionsallokation

Wachsende technologische Möglichkeiten ermöglichen die zunehmende Automatisierung von Aufgaben, die zuvor durch den Menschen ausgeführt wurden. Zentral für die Entwicklung von Assistenzsystemen ist daher die Überlegung, welche Aufgabenteile automatisiert werden sollen und welche beim Fahrer verbleiben sollen (Parasuraman et al., 2000). Diese Verteilung der Funktionen zwischen Fahrer und Assistenz wird bei der Gestaltung der Funktionalität eines Systems adressiert, die neben der Gestaltung der Nutzerschnittstelle eine der beiden wesentlichen Komponenten bei der Entwicklung von Systemen darstellt. Für eine gelungene Systementwicklung ist jedoch eine getrennte Bearbeitung der Funktionsgestaltung und der Schnittstellengestaltung bedeutsam, da sich Schwächen bei den Funktionen von Systemen nicht anhand einer besseren Nutzerschnittstelle lösen lassen und umge-

kehrt (Riley, 2000). Diese Funktionsteilung zwischen Fahrer und Assistenz oder auch Funktionsallokation kann anhand verschiedener Kriterien erfolgen. Bei der folgenden Klassifizierung nach Hacker (1998) wird deutlich, dass die Wahl des Kriteriums mit einem unterschiedlichen Stellenwert des Menschen innerhalb des Mensch-Maschine-Systems einhergeht.

Als technozentriertes Konzept hat die *Maximalautomatisierung* das Ziel, alles technisch Machbare zu automatisieren, während nur die Restfunktionen beim Menschen verbleiben (left-over). Diese sind daher nicht gezielt nach psychologischen Prinzipien ausgewählt worden. Probleme dieses Konzeptes sind als „Ironien der Automatisierung“ bekannt geworden (Bainbridge, 1983). Problematisch ist es beispielsweise, wenn der Nutzer in Notfällen wieder die Kontrolle übernehmen soll, was aufgrund der fehlenden Einbindung in die Entstehungsgeschichte des Notfalls schwierig sein kann.

Das Konzept der *komparativen Automatisierung* berücksichtigt neben den technischen Möglichkeiten auch die menschlichen Fähigkeiten. Dazu werden die Stärken von Menschen und die Stärken von Maschinen identifiziert und in sogenannten MABA-MABA-Listen (men are better at – machines are better at) aufgelistet. Beispielsweise liegen nach Fitts (1951, zitiert nach Older, Waterson & Clegg, 1997) die menschlichen Stärken in der Improvisation, in der optischen oder akustischen Mustererkennung oder im Fällen von Urteilen. Maschinen sind beispielsweise gut darin, schnell zu reagieren, große Kräfte präzise aufzubringen oder kurzfristig Informationen zu speichern. Kritisiert wurden die im Zusammenhang mit diesem Konzept vorgenommenen Vergleiche der Stärken von Mensch und Maschine, da beide Systeme sich nicht ersetzen, sondern ergänzen (Jordan, 1963 zitiert nach Hancock et al. 1997).

Das Konzept der *ökonomischen Automatisierung* sucht nach der insgesamt preiswertesten Lösung, indem die Funktionen so verteilt werden, wie sie jeweils am billigsten zu realisieren sind. Hier wird ansatzweise eine gemeinsame Optimierung menschlicher und technischer Vorgänge vorgenommen, allerdings unter rein ökonomischen Gesichtspunkten.

Schließlich bildet das vierte Konzept der *komplementären Automatisierung* als ein anthropozentrisches Konzept den Gegenpol zum technozentrierten Konzept der Maximalautomatisierung und scheint den Anforderungen der vorliegenden Arbeit nach einer nutzer-zentrierten Ermittlung des Unterstützungsbedarfs am besten zu entsprechen. Ziel des Konzeptes ist die Nutzung und Förderung der menschlichen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten bei der Aufgabenbewältigung. Die Funktionen werden daher so zwischen Mensch und Maschine aufgeteilt, dass die Automatisierung die Schwächen des Menschen kompensiert und seine Stärken nutzt bzw. fördert. Statt also wie im technozentrierten Konzept alles technisch Machbare zu automatisieren oder wie beim komparativen Konzept Funktionen aufgrund vermuteter Leistungsvorteile zuzuteilen, soll hier die Interaktion zwischen Mensch und Technik bei der Erfüllung der Aufgabe des Gesamtsystems optimiert werden.

In der Vergangenheit wurden bereits zahlreiche Kategorisierungen entwickelt, die sich dem Konzept der komplementären Automatisierung zuordnen lassen und anhand derer eine Funktionsaufteilung zwischen Mensch und Maschine beschrieben werden kann. Frühe Kategorisierungen haben dabei oftmals die Automatisierungsfunktion und den Automatisierungsgrad in einer Dimension abgebildet (Miller & Parasuraman, 2007). So nennen beispielsweise Sheridan und Verplank (1978, zitiert nach Kaber & Endlsey, 2003) zehn verschiedene Automatisierungsstufen („Level of Automation“, kurz LOA) im Zusammenhang mit einer Unterwasserkontrollaufgabe, die in Tabelle 1.1 dargestellt sind. Die Stufen unterscheiden sich hinsichtlich der Allokation der Entscheidungsbefugnis und der Handlungsausführung. Der Computer unterstützt in den niedrigen Stufen den Nutzer eher bei der Entscheidungsfindung

und in den höheren Stufen zusätzlich bei der Handlungsplanung und –ausführung. Damit bildet die Kategorisierung allerdings sowohl verschiedene Automatisierungsfunktionen als auch verschiedene Automatisierungsgrade in einer einzigen Dimension ab.

Tab.1.1: Hierarchie der „Levels of Automation“ (LOA) nach Sheridan und Verplank (1978).

1.	Human does the whole job up to the point of turning it over to the computer to implement
2.	Computer helps by determining the options
3.	Computer helps to determine options and suggests one, which human need not to follow
4.	Computer selects action and human may or may not do it
5.	Computer selects action and implements it if human approves
6.	Computer selects action, informs human in plenty of time to stop it
7.	Computer does whole job and necessarily tells human what it did
8.	Computer does whole job and tells human what it did only if human explicitly asks
9.	Computer does whole job and decides what the human should be told, and
10.	Computer does whole job if it decides it should be done and, if so, tells human, if it decides that the human should be told

Eine Kategorisierung nach Parasuraman, Sheridan & Wickens (2000) sieht hingegen getrennte Dimensionen für die zu automatisierende Funktion und den Automatisierungsgrad vor. Dadurch lässt sich für die verschiedenen Funktionen separat beschreiben, in welchem Grad der Mensch bzw. die Maschine bei der Umsetzung beteiligt sind.

Die im Konzept genannten Funktionen, die von der Automation übernommen werden können, orientieren sich an der menschlichen Informationsverarbeitung und umfassen die Informationsakquisition, Informationsanalyse, Entscheidungsfindung und Handlungsimplementation. In Abbildung 1.1 sind die Funktionen mit den jeweiligen Automationsgraden für zwei beispielhafte Systeme dargestellt. Auf der untersten Ebene unterstützt Automation zur *Informationsakquisition* den Nutzer bei der Aufnahme und Organisation der eingehenden Informationen. Unterstützt wird dabei vor allem die sensorische Aufnahme und Verarbeitung der Rohdaten und weniger die bewusste Verarbeitung. Auf einer höheren Ebene unterstützt Automation der *Informationsanalyse* hingegen die bewusste Wahrnehmung und die Verarbeitung der Information im Arbeitsgedächtnis. Dabei werden kognitive Prozesse wie das Integrieren verschiedener eingehender Informationen oder das Treffen von Vorhersagen über den weiteren Situationsverlauf unterstützt. Automation zur *Entscheidungsfindung und Handlungsplanung* geht darüber hinaus, indem die Vorhersagen über den Situationsverlauf zusätzlich hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile bewertet werden und dadurch aus den verschiedenen Entscheidungsalternativen eine Empfehlung ausgesprochen werden kann. Auf der höchsten Ebene der *Handlungsimplementation* unterstützt Automation schließlich bei der konkreten Handlungsausführung und ersetzt typischerweise menschliche Dateneingaben oder Handlungen.

Für jede dieser Funktionen lässt sich im Rahmen der zweiten Dimension des Automatisierungsgrades beschreiben, ob sie zu einem niedrigen oder hohen Grad automatisiert sind. Beispielsweise unterscheiden sich bei der Automatisierung der Handlungsimplementa-

eine hohe und eine niedrige Automatisierungsstufe durch den Anteil der noch verbliebenen manuellen Aktivitäten an der Gesamtaufgabe. Die Automatisierungsgrade können für jede Funktion unabhängig definiert werden, so dass sich anhand dieses Konzeptes Assistenzsysteme beschreiben lassen, die eine oder mehrere Funktionen unterstützen und jede dieser Funktionen mit einem unterschiedlichen Automatisierungsgrad. Die Bestimmung der geeigneten Automatisierungsfunktion und des optimalen Automatisierungsgrades bei der Entwicklung eines Assistenzsystems erfolgt dann anhand mehrerer Kriterien, wobei die Performanz des Nutzers als primäres Kriterium dient.

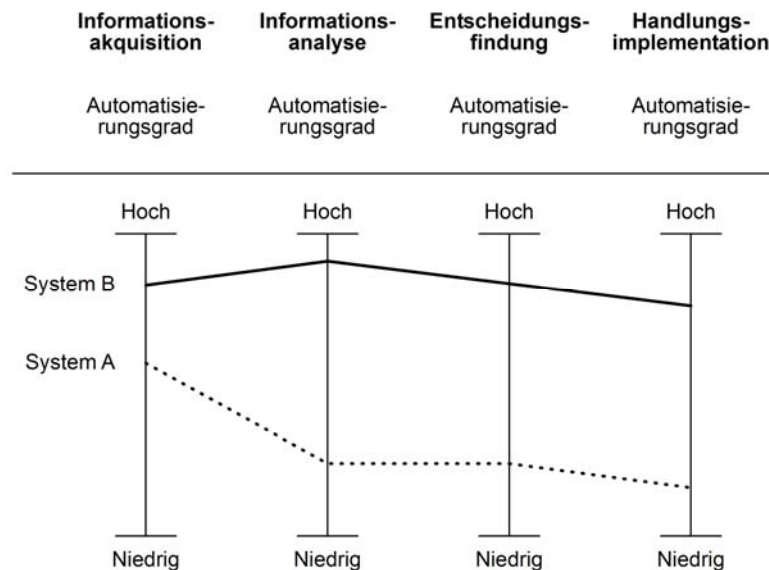


Abb. 1.1: Automatisierungsgrade für die unabhängigen Funktionen Informationsakquisition, Informationsanalyse, Entscheidungsfindung und Handlungsimplementation (nach Parasuraman, Sheridan & Wickens, 2000).

Insgesamt bietet das Konzept nach Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000) eine sinnvolle Auflistung möglicher Automatisierungsarten, indem die Funktionen kategorisiert werden, die von Fahrerassistenzsystemen übernommen werden können. Nützlich erscheint, dass sich die Kategorisierung an den Prozessen orientiert, die auch in etlichen Modellen zur menschlichen Informationsverarbeitung beschrieben werden (z.B. Wickens, 2000). Zudem kann separat für jede Funktionen die Stärke der Beteiligung des Menschen und der Assistenz bei der Ausführung beschrieben werden. Die Entscheidung über den geeigneten Automatisierungsgrad wird außerdem objektiv anhand der Performanz des Nutzers getroffen, so dass eventuelle Veränderungen der Aufgabe durch die Automatisierung berücksichtigt werden. Aufgrund einer möglicherweise schwierigen Unterscheidung werden die beiden Funktionen Informationsakquisition und Informationsanalyse in der vorliegenden Arbeit zur Informationsaufnahme zusammengefasst, so dass sich mit der Informationsaufnahme, Entscheidungsfindung und Handlungsausführung 3 mögliche zu automatisierende Funktionen ergeben. Unterstützung erhalten die Fahrer durch entsprechende Fahrerassistenzsysteme, indem ein Info-Assistent bei der Informationsaufnahme, eine Warn-Assistent bei der Entscheidungsfindung und ein Eingriff-Assistent bei der Handlungsausführung unterstützt.

Das beschriebene Modell entwickelt allerdings keine Systematik darüber, für welche Fahraufgaben oder in welchen Situationen die verschiedenen Funktionsverteilungen zwischen Fahrerassistenzsystem und Fahrer am besten geeignet sind. Da der Aufgabenbezug der verschiedenen Automatisierungsformen weitgehend fehlt, bleibt unklar, bei welcher Fahrauf-

gabe oder in welcher Situation beispielsweise eine Unterstützung des Fahrers bei der Handlungsausführung sinnvoll ist. Daher erscheint es sinnvoll, die Kategorisierung der zu automatisierenden Funktionen um Betrachtungen zu den Aufgabenanforderungen zu erweitern, die sich dem Fahrer bei einer Fahraufgabe oder in einer Situation stellen.

1.2 Aufgabenanforderungen

Bei der Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen, zu denen Fahrerassistenzsysteme zählen, wird die Rolle der Aufgabe meist dramatisch unterschätzt und es wird oftmals überhaupt nicht wahrgenommen, dass Personen in Mensch-Maschine-Systemen Aufgaben zu lösen haben (Wandke, 2004). Ein Modell, das die Bedeutung der Aufgabenanforderungen im Fahrkontext berücksichtigt, ist das Task-Capability-Interface (TCI) von Fuller (2000, 2005, 2008). Wie in Abbildung 1.2 dargestellt, steht nach diesem Modell das Leistungsvermögen des Fahrers den Anforderungen der Fahrsituation gegenüber. Das Verhältnis beider Größen wird vom Fahrer als Aufgabenschwierigkeit wahrgenommen und beeinflusst sein Fahrverhalten und die Fahrleistung.

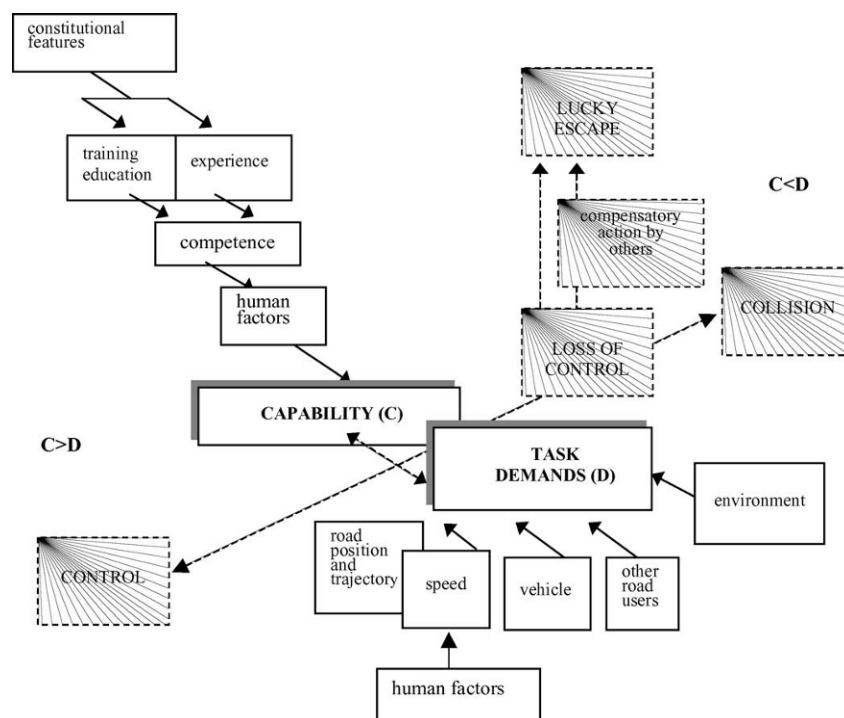


Abb. 1.2: Das Task-Capability-Interface nach Fuller (2005).

Das Modell nennt eine Reihe von Variablen, die das Leistungsvermögen oder die Aufgabenanforderungen beeinflussen und damit zur Kontrolle der Fahraufgabe beitragen. Das Leistungsvermögen wird nach Fuller durch angeborene und durch Training oder Erfahrung erworbene Qualifikationen beeinflusst. Zu den angeborenen Qualifikationen werden beispielsweise die Informationsverarbeitungskapazität, Reaktionszeitvermögen und motorische Fähigkeiten gezählt. Unter erworbenen Qualifikationen werden deklaratives und prozedurales Wissen sowie Fertigkeiten verstanden. Dazu zählen beispielsweise Kenntnisse über Verkehrsregeln, über Verhaltensweisen in bestimmten Verkehrssituationen oder die Fahrzeugbedienung. Die angeborenen und erworbenen Qualifikationen zusammen bestimmen das maximale Leistungsvermögen des Fahrers, das er aber aufgrund verschiedener psychologischer Faktoren nicht immer in der Lage ist zu zeigen. Beispielsweise können motivationale

Faktoren, Müdigkeit, Ablenkung, Stress oder Emotionen das Leistungsvermögen beeinträchtigen. Die dem Leistungsvermögen gegenüberstehenden Aufgabenanforderungen werden nach Fuller determiniert durch Umgebungsfaktoren, andere Verkehrsteilnehmer, Fahrzeugeigenschaften und eigenes Fahrverhalten. Zu den Umgebungsfaktoren zählen beispielsweise die Sichtverhältnisse, die Straßenoberfläche und Streckenkurvigkeit. Andere Verkehrsteilnehmer sind insbesondere dann relevant, wenn sie sich innerhalb des geplanten Fahrwegs befinden. Als Fahrzeugeigenschaften beeinflussen beispielsweise Informationsanzeigen und Bedienelemente die Anforderungen. Die Aufgabenanforderungen werden außerdem von der Fahrzeugtrajektorie und der Geschwindigkeit bestimmt, die der Fahrer allerdings direkter beeinflussen kann als die anderen Faktoren.

Aus der Differenz zwischen Leistungsvermögen und Anforderungen resultiert die vom Fahrer wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit. Laut Modell hat jeder Fahrer ein individuell akzeptiertes Schwierigkeitsniveau, das er in der Regel versucht konstant zu halten. Übersteigen die Anforderungen das Leistungsvermögen, so kann der Fahrer diese Differenz innerhalb gewisser Grenzen ausgleichen, indem er beispielsweise die Anstrengung steigert oder die Anforderungen senkt. So zeigte sich in Studien (z.B. Van der Hulst, Meijman & Rothengatter, 1999; van der Horst, 2007), dass Fahrer beispielsweise durch Geschwindigkeitsanpassungen sehr wirkungsvoll die Aufgabenanforderungen kontrollieren, da die Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt, wie schnell der Fahrer die notwendigen kognitiven und motorischen Prozesse ausführen muss. Neben der Geschwindigkeitswahl kann die Aufgabenschwierigkeit durch weitere Faktoren auf Seite der Anforderungen als auch der Fähigkeiten kontrolliert werden. Beispielsweise können die Fähigkeiten durch höhere Anstrengung gesteigert werden oder die Anforderungen durch eine serielle Abarbeitung der Aufgabenbestandteile reduziert werden. Liegen die Anforderungen jedoch sehr viel höher als das Leistungsvermögen, so treten sukzessive ein Kontrollverlust ein und eine Verschlechterung der Fahrleistung, indem zunächst unwichtige und dann zunehmend wichtige Handlungen nicht mehr ausgeführt werden und plötzlich auftretende Zusatzbelastungen nicht mehr aufgefangen werden können. So gibt es beispielsweise Belege dafür, dass Fahrer bei Nutzung eines mobilen Telefons die Anzahl ihrer Blicke in den Rückspiegel reduzieren (Brookhuis et al., 1991).

Insgesamt belegt das Modell von Fuller die Bedeutung der Aufgabenanforderungen für das Fahrverhalten und die Fahrleistung. Es legt damit die Vermutung nahe, dass die Berücksichtigung der Anforderungen einer Fahraufgabe auch für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen relevant sein könnte. Entsprechen die Aufgabenanforderungen dem Leistungsvermögen des Fahrers, so sollte die Aufgabenschwierigkeit bzw. das Risikoempfinden in einem mittleren Bereich liegen und der Fahrer die Fahraufgabe gut allein bewältigen können. Übersteigen die Anforderungen jedoch das Leistungsvermögen des Fahrers und können nicht mehr durch beispielsweise höhere Anstrengung kompensiert werden, so könnte die Unterstützung durch ein Fahrerassistenzsystem sinnvoll sein. Die Unterstützung bei bestimmten Anforderungen durch ein Fahrerassistenzsystem könnte dann wieder zu einem ausgeglichenen Verhältnis zwischen Anforderungen und dem dann gemeinsamen Leistungsvermögen von Mensch und Maschine führen.

1.3 Fazit und Fragestellung der Arbeit

Die Entwicklung eines Fahrerassistenzsystems setzt die Entscheidung darüber voraus, welche Teile der Fahraufgabe weiterhin vom Fahrer und welche vom System ausgeführt werden sollen. Modelle zu den „Levels of Automation“ liefern hier Kategorisierungen über die

menschlichen Verarbeitungsprozesse, bei denen Fahrerassistenzsysteme unterstützen können. Angelehnt an das Modell von Parasuraman, Sheridan & Wickens (2000) werden in der vorliegenden Arbeit 3 Assistenzfunktionen unterschieden, die entweder die Informationsaufnahme, die Entscheidungsfindung oder die Handlungsausführung unterstützen. Allerdings wird in den Modellen kaum auf die Aufgabenanforderungen eingegangen, bei denen diese Unterstützung erfolgen sollte. Die Bedeutung der Anforderungen einer Fahraufgabe für das Fahrverhalten und die Fahrleistung ist wiederum in zahlreichen anderen Studien und Modellen belegt und berücksichtigt worden (z.B. Fuller, 2005).

Als Kombination der beiden Perspektiven könnte es somit sinnvoll sein, die Anforderungen einer Fahraufgabe oder –situation als Kriterium für die Art der Fahrerunterstützung zu verwenden - nämlich mit derjenigen Funktion zu unterstützen, die in der Situation benötigt wird und immer dann zu unterstützen, wenn der Fahrer ansonsten überfordert wäre. Es stellt sich daher die Frage, ob die Abstimmung von Assistenzfunktionen mit den Aufgabenanforderungen bei der Entwicklung und dem Einsatz von Fahrerassistenzsystemen berücksichtigt werden sollte. Dazu soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, ob ein Fahrerassistenzsystem, dessen Funktion mit den aktuell vorhandenen Aufgabenanforderungen abgestimmt ist, wirksamer ist, als beispielsweise ein Assistenzsystem mit dem höchsten Automatisierungsgrad. Um die Wirksamkeit der Assistenzsysteme aus mehreren Perspektiven zu betrachten, sollen neben der Fahrleistung auch die Beanspruchung der Fahrer und die Akzeptanz der Systeme durch den Fahrer verglichen werden.

2 Literaturrecherche

Die bisher beschriebenen Befunde zeigen, dass die Fahraufgabe bestimmte Anforderungen an den Fahrer stellt, die dieser mehr oder weniger sicher bewältigt, so dass die Fahraufgabe daher einen wesentlichen Faktor für die Fahrleistung darzustellen scheint. Die Analyse von Fahraufgaben könnte daher Hinweise darauf geben, welche Assistenzfunktion für den Fahrer in der jeweiligen Situation hilfreich oder nicht hilfreich ist. Im Folgenden wird dargestellt, welche empirischen Forschungsarbeiten bereits vorliegen, die die Wirkung von Assistenzsystemen im Zusammenhang mit bestimmten Fahraufgaben oder bestimmten Fahrsituationen untersucht haben. Dabei sollen neben der Wirkung der Assistenzsysteme auf das Fahrverhalten auch die Wirkung der Systeme auf die Beanspruchung der Fahrer und die Akzeptanz der Systeme berücksichtigt werden. Folgende Fragen sollen dabei beantwortet werden:

- Welche Erkenntnisse gibt es bereits über die Wirkung von Assistenzsystemen bei bestimmten Anforderungen?
- Geben die bisherigen Arbeiten bereits Anhaltspunkte dafür, dass eine Abstimmung der Assistenzfunktion mit der Aufgabenanforderung sinnvoll ist?

2.1 Durchführung der Literaturrecherche

Die Literaturrecherche erfolgte in den Suchmaschinen Scirus, PsycInfo, OVID, Scopus und google scholar. Als Suchbegriffe für die Recherche zur Querführungsassistenz wurden Kombinationen der Begriffe assistance, driving, lane keeping, lateral control, steering, lane following, lane departure, heading control, lane departure avoidance, lane exceedance, road departure, lateral support, information, warning and intervention verwendet. Für die Recherche zur Längsführung wurden die folgenden Begriffe verwendet: Assistance, driving, forward collision, collision avoidance, obstacle detection, rear end crash, car following, distance keeping. Aus der Längsführungsrecherche wurden alle Artikel ausgeschlossen, die Untersuchungen zur „Adaptive Cruise Control“ (ACC) beinhalteten, da sich dieses System nicht zu einer der zu untersuchenden Kategorien von Assistenzfunktionen zuordnen lässt. Einbezogen wurden Veröffentlichungen seit 1995. Zusätzlich zur Recherche in den Suchmaschinen anhand der Suchbegriffe wurden auch die Literaturverweise der ermittelten Artikel ausgewertet. Die Recherche ergab für die Querführung 114 Suchergebnisse, von denen 8 Artikel nicht beschaffbar waren bzw. nicht in englischer oder deutscher Sprache vorlagen. Die Recherche zur Längsführung resultierte in 128 Suchergebnissen, von denen 4 nicht beschaffbar waren bzw. nicht in englischer oder deutscher Sprache vorlagen.

Um Aussagen über die 3 Assistenzfunktionen Informieren, Warnen und Eingreifen bei bestimmten Fahraufgaben bzw. in bestimmten Fahrsituationen treffen zu können, war es erforderlich, dass die Artikel

- die Wirkung von mindestens einer Assistenzfunktion (informierend, warnend, eingreifend) mit einer Kontrollbedingung oder mehrere Assistenzfunktionen miteinander verglichen,
- die Wirkung der Assistenzsysteme anhand empirischer Untersuchungen unter Beteiligung von Versuchspersonen überprüfen (experimentell oder als Feldstudie) und
- die Wirkung der Assistenzsysteme in Bezug auf Fahrleistungsparameter, physiologische Parameter und / oder anhand subjektiver Bewertungen der Versuchspersonen untersuchten.

Daher wurden Arbeiten ausgeschlossen, die unterschiedliche technische Realisierungen derselben Strategie verglichen (also z.B. verschiedene Algorithmen für die Realisierung eines Eingriffes). Ebenso wurden Artikel ausgeschlossen, die die technische Machbarkeit oder

die korrekte Funktionsweise von Assistenzfunktionen untersuchten. Außerdem wurden keine Studien berücksichtigt, die verschiedene Modalitäten derselben Assistenzfunktion verglichen (z.B. eine warnende Sitzvibration mit einem warnenden Nagelbandrattern), da sich dadurch keine Aussage über die Vorteile einer Assistenzfunktion gegenüber anderen Assistenzfunktionen ableiten lässt. Aus methodischen Gründen wurden ferner Studien ausgeschlossen, die die Wirkung der Assistenzsysteme nur in Form eines zusammenfassenden Indexes beschrieben oder die gar keine quantitativen Aussagen trafen.

Im nächsten Schritt wurde aus den Artikeln extrahiert, welche Fahraufgabe bzw. Fahrsituation vorlag, wie die Assistenzsysteme ausgelegt waren, welche abhängigen Variablen erhoben wurden, welche Ergebnisse sich zeigten und welche Kritikpunkte die Studie aufwies.

Schließlich wurden die Studien zur Verbesserung der Übersichtlichkeit nach untersuchter Fahraufgabe bzw. Fahrsituation einerseits und nach Assistenzfunktion andererseits sortiert und in einer Matrix angeordnet.

2.2 Ergebnisse der Literaturrecherche zur Querführungsassistenz

Von den 106 Studien zur Querführung erfüllten 27 Studien die oben genannten Kriterien und werden im Folgenden dargestellt. Wie Tabelle 2.1 zeigt, haben diese Studien die Wirkung der Assistenzsysteme in bestimmten Situationen wie z.B. einer kurvigen Strecke oder hoher Müdigkeit des Fahrers untersucht. Diese Situationen können wie im Modell von Fuller beschrieben die Fahraufgabe für den Fahrer erschweren, so dass dann die Unterstützung durch ein Assistenzsystem sinnvoll sein kann. In einigen Studien wurde neben der Spurführungsaufgabe keine besondere Situation betrachtet oder es handelte sich um Field Operational Tests (FOT). Einige Studien haben mehrere Fahraufgaben bzw. –situationen untersucht und sind daher mehrfach aufgeführt. Für jede Fahraufgabe in Tabelle 2.1 ist angegeben, wie viele Untersuchungen je nach Assistenzfunktion vorliegen. Die dargebotenen Assistenzfunktionen wurden nach Information, Warnung und Eingriff klassifiziert. Da sowohl Warnung als auch Eingriff oftmals durch haptische Lenkmomente realisiert waren, wurden beide danach unterschieden, ob es sich um ein diskretes Lenkmoment (Warnung) oder ein kontinuierliches Lenkmoment (Eingriff) handelte.

Tab. 2.1: Studien zur Querführung. Angegeben ist die Anzahl der Studien, die zu den 3 Assistenzfunktionen in den verschiedenen Fahraufgaben bzw. Fahrsituationen vorliegen. 2 Studien untersuchten jeweils 2 Fahraufgaben bzw. Fahrsituationen und sind daher mehrfach aufgeführt. Insgesamt lagen 27 Studienergebnisse vor.

	Information	Warnung	Eingriff	Warnung & Eingriff
Mangelnde Sicht	1	2	2	-
Müdigkeit	-	2	2	-
Ablenkung	-	-	6	-
Kurvige Strecke	-	-	2	-
Spurabkommensereignisse	-	3	-	1
Spurhalten ohne besondere Fahraufgaben oder –situationen bzw. Field Operational Test (FOT)	1	3	1	1

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studien für jede Fahraufgabe bzw. Fahrsituation kurz dargestellt.

Mangelnde Sicht

4 Studien haben die Wirkung von Assistenzsystemen bei mangelnder Sicht untersucht. Tabelle 2.2 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.2: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen bei mangelnder Sicht. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe.

	Information	Warnung	Eingriff
Mangelnde Sicht	Info (über Spurverlauf und künftige Position) > Info (über Spurverlauf oder Info über künftige Position) Tan und Steinfeld (2000)	Warner (gerichtet-auditiv + ungerichtetes LM) > Warner (gerichtetes LM) Hoc et al. (2006)	Eingriff (schwaches LM) > Kontrolle De Vos et al. (1996)
		Warner (gerichtetes LM) > Kontrollgruppe Navarro und Hoc (2007)	Eingriff (LM) > Kontrollgruppe Griffiths und Gillespie (2005)

Tan und Steinfeld (2000) verglichen 3 verschiedene Informations-Assistenten, die entweder den Spurverlauf, die Querablage in 20 m Entfernung oder beide Informationen anzeigten. Beide Informationen zusammen führten zu geringeren Spurschwankungen und Lenkwinkelvarianzen und ermöglichten eine höhere Geschwindigkeit im Vergleich zur Darbietung einer einzelnen Information. Für eine Reduzierung der Lenkaktivität war gerade die Kenntnis der künftigen Querablage hilfreich. Die Studie untersuchte allerdings nur eine Versuchsperson und die Assistenten waren für einen Schneepflug bei geringen Geschwindigkeiten konzipiert. Die Untersuchung von **Hoc, Mars, Milleville-Pennel, Jolly, Netto und Blosseville (2006)** verglich ein Lenkmoment mit Richtungsangabe mit einer Kombination aus Lenkmoment ohne Richtungsangabe und einer gerichteten akustischen Warnung. Beide Warner konnten gegenüber der Kontrollgruppe die Zeit reduzieren bis der Fahrer wieder zur Fahrspurmitte zurückfand. Jedoch wurde auf das gerichtete Lenkmoment sehr viel unterschiedlicher reagiert als auf die akustische Warnung.

Navarro und Hoc (2007) untersuchten 5 Warn-Assistenten und eine Kontrollgruppe. Die Warnungen erfolgten entweder auditiv oder haptisch als Lenkmoment oder als auditiv-haptische Kombination. Sowohl akustische als auch haptische Warnung wurden gerichtet oder ungerichtet dargeboten. Obwohl die Lenkreaktionszeit bei allen Assistenten gleich war, befanden sich die Fahrer jedoch bei Warnung durch das gerichtete Lenkmoment (unabhängig davon, ob in Kombination mit akustischer Warnung oder ohne) nicht so lange außerhalb der Spur, was auf die höhere Lenkgenauigkeit zurückgeführt wurde.

De Vos, Godthelp, Theeuwes und Verwey (1996) untersuchten die Wirkung eines schwachen Lenkeingriffs in einer Okklusionsbedingung, bei verschiedenen Fahrspurbreiten, Geschwindigkeiten und Tageszeiten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Bei der Fahrt mit Assistenzsystem waren längere Okklusionszeiten möglich, was auf einen geringeren visuellen Workload deutete. Diese den Workload reduzierende Wirkung des Eingriffs konnte den bei Nacht und höheren Geschwindigkeiten bestehenden höheren Workload wiederum kompensieren. Trotz der Okklusionsbedingung verbesserten sich die Spurführung und die Lenkkontrolle und die Fahrer erhöhten ihre minimale TLC und damit die Sicherheitsabstände. Da

sich durch das System nicht nur der Workload reduzierte, sondern auch die Fahrleistung verbesserte, schlossen die Autoren, dass das System nicht nur als Auslöser zum Reagieren wirkte, sondern von den Fahrern in ihre Regelung einbezogen wurde.

Griffiths und Gillespie (2005) verglichen einen Eingriff mit einer Kontrollgruppe und beobachteten mit Eingriff eine geringere Standardabweichung des lateralen Fehlers, es wurde also weniger um die Spurmitte geschwankt.

Müdigkeit

4 Studien haben die Wirkung von Assistenzsystemen bei Müdigkeit des Fahrers untersucht. Tabelle 2.3 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.3: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen bei Müdigkeit. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe.

	Information	Warnung	Eingriff
Müdigkeit		Warner (gerichtet-auditiv) > Kontrollgruppe Rimini-Doering et al. (2005)	Eingriff (LM) > Kontrollgruppe Tanida (2000)
		Warner (Lenkradvibration + gerichtetes LM) > Kontrollgruppe Kozak et al. (2006)	Eingriff (LM) > Kontrollgruppe Chen und Ulsoy (2006)

Rimini-Doering, Altmueller, Ladstaetter und Rossmeier (2005) verglichen einen zweistufigen akustischen Warner mit einer Kontrollgruppe, der im ersten Schritt auditiv ein Nagelbandrattern imitierte und bei Nichthandeln des Fahrers im zweiten Schritt durch einen Glockenton warnte. Mit Warnung wurde die Spur nicht so weit verlassen und dauerte das Spurverlassen nicht so lange an. Allerdings wurde auch eine Habituation der Probanden an den Warner beobachtet.

Kozak et al. (2006) verglichen 4 verschiedene Warner mit einer Kontrollgruppe. Die Warnung bestand aus einem gerichteten Lenkmoment, das allein oder in Verbindung mit einem (visuellen) Head-up Display oder einem (akustischen) Nagelbandrattern oder mit einer (haptischen) ungerichteten Lenkradvibration angeboten wurde. Reaktionszeiten und die Dauer des Spurverlassens waren für alle 4 Warner günstiger als in der Kontrollbedingung. Die Kombination aus Lenkmoment und Lenkradvibration wurde jedoch als am hilfreichsten bewertet und erreichte die besten Akzeptanzwerte. Auffällig war, dass das Lenkmoment allein nur in 32 % der Warnungen wahrgenommen wurde, während die anderen Assistenten zu 98 % wahrgenommen wurden.

Tanida (2000) verglich einen Eingriff mit einer Kontrollgruppe und beobachtete, dass die Probanden mit Eingriff nicht so stark ermüdeten wie ohne und sich die Reaktionszeit nicht so stark verschlechterte. Der Eingriff konnte die Leistungsfähigkeit der Fahrer besser erhalten.

Chen und Ulsoy (2006) untersuchten 2 Eingriffs-Assistenten und eine Kontrollgruppe. Die Eingriffe erfolgten jeweils durch Lenkmomente und waren technisch durch unterschiedliche Controller umgesetzt. Eine Realisierungsvariante konnte die Spurüberschreitungen gegenüber der Kontrollgruppe verkürzen und die Schwankungen in der Querablage reduzieren. Allerdings hielt diese Wirkung nur bei kurzen Fahrten an, da die Probanden an die Systeme habituierten.

Ablenkung

6 Studien untersuchten die Wirkung von Assistenzsystemen auf abgelenkte Fahrer. Tabelle 2.4 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.4: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen bei Ablenkung. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe.

	Information	Warnung	Eingriff
Ablenkung			Eingriff (LM, orientiert an Heading) > Kontrollgruppe Schumann et al. (1996)
			Eingriff (LM) > Kontrollgruppe Young und Stanton (1997), Stanton und Young (1998) und Stanton et al. (2001)
			Eingriff (LM) > Kontrollgruppe König et al. (2003)
			Eingriff (LM) > Kontrollgruppe Vollrath und Totzke (2005)
			Eingriff (LM) > Kontrolle Griffiths und Gillespie (2005)
			Eingriff (früh o. kontinuierlich) > Kontrolle Blaschke et al. (2009)

Schumann, Lowenau und Naab (1996) verglichen eine Kontrollgruppe mit 3 verschiedenen Auslegungen eines Eingriff-Assistenten, die sich darin unterschieden, an welchen Parameter die Unterstützung gekoppelt war. Variiert wurde außerdem, ob eine motorische und kognitive Nebenaufgabe auszuführen war oder nicht. Neben einer Verbesserung der Fahrleistung wurde in dieser Studie Wert auf die Reduzierung der Anstrengung gelegt, da diese zeigen sollte, ob der Fahrer das System auch genutzt hatte. Die Standardabweichung der Querablage wurde als Maß für die Kontrollleistung erhoben und die Anzahl der Lenkbewegungen als Maß für die Kontrollanstrengung. Eine der drei Auslegungen, deren Unterstützung sich an der Ausrichtung des Fahrzeugs in der Fahrspur orientierte, konnte die Leistung gegenüber der Kontrollgruppe verbessern, reduzierte aber nicht die Anstrengung. Eine andere Auslegung konnte hingegen die Kontrollanstrengung gegenüber der Kontrollgruppe reduzieren und die Leistung beibehalten und wurde daher favorisiert. Diese Auslegung griff in Abhängigkeit von der Querablage des Fahrzeugs ein.

Young und Stanton (1997), Stanton und Young (1998) und Stanton, Young, Walker, Turner und Randle (2001) untersuchten einen Eingriff in die Längsführung (ACC), einen Eingriff in die Querführung, eine Kombination beider Eingriffe und eine Kontrollgruppe. Betrachtet man nur die Bedingungen, in denen Querführungsassistenz beteiligt war, so zeigte sich, dass die Probanden mit der Querführungsassistenz stärker in der Spurmitte fuhren und

weniger beansprucht waren als bei manueller Querführung. Die Kombination beider Assistenten führte allerdings zu noch geringerer Beanspruchung. Obwohl die Fahrer mit Assistenz ihre Geschwindigkeit nicht erhöhten und die Abstände zum Führungsfahrzeug nicht reduzierten, gab es mit dem Querführungseingriff mehr Auffahrunfälle als in der manuellen Bedingung. Die Autoren schlossen daraus, dass die Fahrer in kritischen Situationen schlechter die Kontrolle zurückerhielten.

König, Weiß und Mayser (2003) verglichen die Wirkung eines Eingriffs mit einer unassistierten Fahrt wenn die Fahrer eine Nebenaufgabe ausführten bzw. sich nur der Fahraufgabe widmeten. Die Nebenaufgabe führte zu einer Erhöhung der Schwankungen in der Querablage. Der Eingriffs-Assistent verbesserte jedoch in beiden Nebenaufgabenbedingungen die Spurführung. Daraus wurde gefolgert, dass der Assistent höhere Beanspruchungen teilweise kompensieren konnte.

Vollrath und Totzke (2005) verglichen ebenfalls die Wirkung eines eingreifenden Assistenten beim Erfüllen einer visuell-motorischen bzw. auditiv-sprachlichen bzw. keiner Nebenaufgabe mit der Fahrleistung ohne Assistenz. Die durch die visuell-motorische Nebenaufgabe verursachten Leistungseinbußen bei der Spurführung konnte der eingreifende Assistent soweit kompensieren, dass dieselbe Fahrleistung wie ohne Nebenaufgabe und ohne Assistenz erreicht wurde. Allerdings zeigten die Fahrer mit Assistenz eine höhere Lenkaktivität.

Griffiths und Gillespie (2005) verglichen einen Eingriff mit einer Kontrollgruppe nicht nur bei mangelnder Sicht (s.o.), sondern auch bei Ablenkung. Während sich die Spurführung durch die Nebenaufgabe und ohne Assistenz verschlechterte, konnte der Eingriff dieses kompensieren. Die Schwankungen in der Querablage wurden dann reduziert, die Reaktionszeit verkürzt und die Aufmerksamkeit für die Fahraufgabe erhöht.

Blaschke, Breyer, Färber, Freyer und Limbacher (2009) verglichen 3 Eingriff-Assistenten mit unterschiedlichem Eingriffszeitpunkt mit einer Kontrollgruppe. Die Assistenten waren entweder ab einem Abstand von 25 oder 40 cm zum Spurrand oder kontinuierlich spürbar. Der frühe und der kontinuierliche Eingriff konnten die Schwankungen in der Querablage reduzieren. Als eine der wenigen Studien wurde in dieser Studie auch die Akzeptanz der Systeme erhoben. Alle Assistenten wurden als hilfreich gegenüber der manuellen Fahrt bewertet. Der frühe und der kontinuierliche Eingriff wurden außerdem als sicherheitserhöhend empfunden. Die Autoren schlossen aus den Ergebnissen, dass eine Adaptivität von Assistenz an die Fahrerablenkung sinnvoll ist.

Kurvige Strecke

2 Studien untersuchten die Wirkung von Assistenzsystemen beim Befahren kurviger Strecken. Tabelle 2.5 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.5: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen bei kurviger Strecke. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe.

	Information	Warnung	Eingriff
Kurvige Strecke			Eingriff (LM) > Kontrollgruppe Vollrath und Totzke (2005)
			Eingriff (LM, hart) > Kontrollgruppe Brandt et al. (2007)

Vollrath und Totzke (2005) untersuchten die Wirkung eines eingreifenden Assistenten bei der Ausführung von Zweitaufgaben (s.o.) auch im Zusammenhang mit schwierigen Fahraufgaben, wie kurvigen versus geraden Strecken und freiem Fahren versus Folgefahren. Bei Kurven reduzierte der Eingriff die Dauer von Spurverlassensereignissen und die Geschwindigkeit. Der positive Effekt des Eingriffs blieb auch erhalten, wenn die Geschwindigkeit kontrolliert wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass der Assistent die Aufmerksamkeit der Fahrer stärker auf die Spurführungsaufgabe lenkte. Der Eingriff wirkte außerdem umso effektiver, je stärker die Spurführung durch situative Faktoren wie Kurven erschwert war. Diese Ergebnisse unterstützten nach Meinung der Autoren die Idee, Assistenzsysteme an die situativen Faktoren der Fahraufgabe anzupassen, indem bei schwierigen Fahraufgaben das Assistenzsystem die Leistungsminderung durch eventuell notwendige Nebenaufgaben kompensiert.

Brandt, Sattel und Böhm (2007) verglichen einen kombinierten Längs- und Querführungsassistenten und eine Kontrollgruppe beim Befahren einer kurvigen Strecke mit einigen überraschenden Hindernissen. Der Querführungsassistent griff je nach Steigung des Lenkmomentverlaufs entweder hart oder weich ein. Der harte Eingriff konnte die laterale Abweichung vom errechneten Pfad signifikant gegenüber der Kontrollgruppe reduzieren. Die Probanden gaben außerdem an, dass der Querführungsassistent den Workload beim Lösen einer zusätzlichen Nebenaufgabe senkte.

Spurabkommen

4 Studien untersuchten die Wirkung von Assistenzsystemen bei plötzlichen Spurverlassensereignissen. In einer Studie wurde eine glatte Straße simuliert, in 3 Studien näherte sich das Fahrzeug durch eine Gierbewegung dem Spurrand, was die Fahrer wegen einer Nebenaufgabe nicht bemerkten. Tabelle 2.6 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.6: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen bei kurviger Strecke. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe.

	Information	Warnung	Eingriff
Spurabkommen		Warner (gerichtet, haptisch oder hapt.+auditiv) tend. > Kontrollgruppe Tijerina et al. (1995)	
		Warner (auditiv, mittlere Sensitivität, ansteigend) > Kontrollgruppe Gupta et al. (2002)	
		Warner (LM, Gerichtetheit irrelevant) > Warner (auditiv) Suzuki und Jansson (2003)	
		Eingriff (LM) > Warner (auditiv-ungerichtet, auditiv-gerichtet, Lenkradvibration) Yoshida et al. (2006)	

Tijerina, Jackson, Pomerleau, Romano und Perterson (1995) verglichen 3 Warn-Assistenten mit einer Kontrollgruppe. Neben dem Warnbeginn, dem auslösenden Kriterium, der Gefahrenstärke und der Gerichtetheit unterschieden sich die Assistenten auch in der

genutzten Sinnesmodalität. Es wurde entweder ein auditiver oder ein haptischer (Lenkradvibration) Assistent oder eine Kombination dargeboten. Die Assistenten konnten die Spurführung nicht signifikant gegenüber der Kontrollgruppe verbessern, zeigten jedoch tendenzielle Verbesserungen. Die Assistenten ermöglichten tendenziell schnellere Reaktionen, geringeres Spurabkommen und kontrolliertere Lenkmanöver. Dabei war die haptische Warnung oder die Kombination aus haptischer und auditiver Warnung der allein auditiven Warnung überlegen. Die gerichtete Warnung war zudem der ungerichteten Warnung überlegen.

Gupta, Bisantz und Singh (2002) verglichen 4 auditive Warn-Assistenten mit einer Kontrollgruppe bei der Fahrt auf einer glatten Straße im Fahrsimulator. Die Warnungen variierten hinsichtlich des Warnzeitpunktes (niedriges oder starkes Rutschverhalten des Fahrzeugs) und des Warntons (eine Tonlage oder ansteigender Ton). Alle 4 Warnungen ermöglichten eine bessere Fahrleistung als die Kontrollgruppe. Hinsichtlich der Alarmsensitivität führte eine niedrige Sensitivität zu geringerer Lenkaktivität und damit besserer Fahrzeugkontrolle und eine hohe Sensitivität zu niedrigerer Geschwindigkeit und damit vorsichtigerem Verhalten. Daher wurde ein mittlerer Sensitivitätslevel empfohlen. Hinsichtlich des Alarmtones zeigten die Fahrer mit gefahrenabhängig ansteigendem Ton eine bessere Fahrzeugkontrolle und erschreckten nicht so leicht. Einen visuellen Assistenten boten die Autoren mit der Begründung, dass dieser zu stark ablenke, nicht an.

Suzuki und Jansson (2003) untersuchten 4 Warn-Assistenten, von denen jeweils 2 haptisch bzw. auditiv waren und mit bzw. ohne Richtungsangabe dargeboten wurden. Der haptische Warner war entweder eine Lenkradvibration oder ein Lenkmoment in Richtung Spurmitte. Die Lenkreaktionszeit war mit beiden haptischen Warnern kürzer als mit den auditiven Warnern. Die Richtungsinformation beim haptischen Warner brachte keinen Vorteil. Die auditiven Warn-Assistenten konnten die Reaktionszeit nur verbessern wenn ihre Bedeutung dem Fahrer schon bekannt war. Dafür haben mit den auditiven Warnern alle Fahrer korrekt reagiert, während beim Lenkmoment etliche Fahrer in die falsche Richtung lenkten.

Yoshida, Mouri, Sato und Nagai (2006) verglichen als eine von nur 2 Studien 2 verschiedene Assistenzfunktionen miteinander, nämlich 3 verschiedene Warn-Assistenten und einen Eingriff. Die Warner waren auditiv und ungerichtet, auditiv und gerichtet oder haptisch (Lenkradvibration). Mit dem Eingriff war die maximale Querablage geringer als mit den Warn-Assistenten und es dauerte nicht so lange bis sich das Fahrzeug wieder parallel in der Fahrspur befand. Außerdem war der Eingriff gegenüber den Warn-Assistenten überlegen, weil er später aktiv werden konnte und damit weniger Fehllarme erzeugte. Die Warnungen wurden bei einer Entfernung von 1 s zum Fahrspurrand (Time-To-Line Crossing, kurz: TLC) aktiv, beim Eingriff genügten 0.7 s bis zum Spurrand.

Studien zum Spurhalten

6 Studien untersuchten die Wirkung von Assistenzfunktionen beim Spurhalten, das nicht durch besondere Bedingungen oder Nebenaufgaben erschwert war. Davon wurden 3 Studien in sogenannten Field Operational Tests (FOT) durchgeführt. Dort wurden die Systeme von Fahrern über einen längeren Zeitraum während der alltäglichen Strecken getestet. Trotz der unterschiedlichen Methodik werden die Studien zusammengefasst, weil in allen Studien neben der Spurführungsaufgabe keine weiteren Aufgaben oder Situationen zu bewältigen waren. Tabelle 2.7 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.7: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen beim Spurhalten ohne weitere Fahraufgaben oder besondere Fahrsituationen. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe. In fetter Schrift dargestellt sind die Studien, in denen die verschiedenen Systeme keine unterschiedliche Wirkung zeigten.

	Information	Warnung	Eingriff
Spurhalten, inkl. FOT		Eingriff (LM): entlastet Warnung (gerichtet-auditiv): verbessert Spurführung (mglw. aber Vermeidungsverhalten) Buld und Krüger (2002)	
	Info (HUD mit Anzeige künftiger Querablage) > Info (HUD mit Anzeige künftiger Querablage und Pfad) > Kontrollgruppe Tönnis et al. (2007)	FOT: Warner (auditiv) > Kontrollgruppe Nur Akzeptanzbewertungen! Katteler (2003)	Eingriff (LM in 3 Graden) = Kontrolle In Bezug auf Fahrleistung, aber: Beanspruchung mit Eingriff geringer und Sichtfeld größer Ishida et al. (2002)
		FOT: Warner (zweistufig, vis.-hapt., vis.-aud.) > Kontrollgruppe Le Blanc et al. (2006), Wilson (2008), Brunetti Sayer et al. (2005)	
		FOT: Warner (visuell und gerichtet-auditiv) > Kontrollgruppe Aber: gilt nicht für Akzeptanz! Alkim et al. (2007)	

Tönnis, Lange und Klinker (2007) untersuchten 2 Info-Assistenten, die sowohl die Längs- als auch die Querführung unterstützten und zwei Besonderheiten aufwiesen. Als Prädiktoren für die Trajektorie bzw. den Bremsweg zeigten sie das Fahrverhalten unmittelbar an und warteten nicht bis zum Eintreten kritischer Ereignisse. Außerdem wurde die Information im Head-up Display angeboten, so dass die Fahrer ihren Blick nicht abwenden mussten und „im loop“ blieben. Der erste Info-Assistent zeigte einen Balken im Head-up Display an, der sich in der Entfernung des jeweiligen Bremsweges vor dem Fahrzeug befand und sich in Abhängigkeit von der Querablage seitlich verschob. Der zweite Info-Assistent zeigte zusätzlich zu dieser Information noch den zurückzulegenden Pfad bis zu diesem Balken an. 27 Probanden befuhren dreimal eine Landstraße im Fahrsimulator und wurden dabei von einem der Assistenten unterstützt oder fuhren ohne Unterstützung. Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt, die aus der Unterstützung der Querführung resultierten. Mit dem zweiten Info-Assistenten fuhren die Probanden stärker in der Spurmitte als mit dem ersten, schwankten aber auch stärker in der Spur als mit dem ersten. Diese Spurschwankungen zeigten sich beim ersten Info-Assistenten verglichen mit der Kontrollgruppe nicht. Gleichzeitig ermöglichte der erste aber auch ein mittiges Befahren der Fahrspur, so dass die Querführungsleistung des ersten Info-Assistenten insgesamt am besten ausfiel. Die Beanspruchung durch den

ersten Info-Assistenten war geringer als die in beiden anderen Bedingungen. Die Akzeptanzbewertung fiel ebenfalls zugunsten des Info-Assistenten mit der geringeren Informationsmenge aus. Die Probanden gaben an, mit ihm am besten fahren und die Geschwindigkeit halten zu können. Er erlaubte außerdem mehr Konzentration auf die Fahraufgabe als der umfangreichere Info-Assistent. Die Autoren präferierten den ersten Assistent, da er den Workload nicht steigerte, Spurabweichungen reduzierte und Schwankungen im Spurverhalten und Geschwindigkeitsverhalten minderte. Sie schlossen, dass die Anzeigen visueller Unterstützungssysteme in zeitkritischen Situationen so minimal und einfach verständlich wie möglich sein sollten.

Katteler (2003) verglich in einem FOT die Akzeptanz von auditiven Warn-Assistenten dreier verschiedener Hersteller mit einer Kontrollgruppe. Ein Warn-Assistent warnte ohne Richtungsangabe und funktionierte bei allen Geschwindigkeiten, die beiden anderen Warner warnten mit Richtungsangabe und funktionierten erst bei Geschwindigkeiten von 60 km/h und höher. Die Warnungen traten vor allem bei Unaufmerksamkeit, Müdigkeit und monotonen Bedingungen auf. 80 % der Fahrer nutzten die Systeme bei fast allen Fahrten, 20 % nutzten sie vor allem auf Autobahnen und deaktivierten sie auf Landstraßen. 50 % der Fahrer fuhren lieber mit System, 21 % lieber ohne und 29 % waren unentschlossen. Nach Meinung der Fahrer wirkten sich die Systeme eher indirekt als direkt auf die Verbesserung der Sicherheit aus, indem sie weniger schreckhaft auf ein Spurverlassen reagierten und schneller reagieren konnten. Die Systeme fokussierten außerdem stärker die Aufmerksamkeit auf die Fahraufgabe, führten zu einem disziplinierteren Blinkverhalten und steigerten den Komfort. Als nachteilig wurde bewertet, dass die Warnungen erschrecken konnten und die Gefahr bestand, sich Nebenaufgaben zuzuwenden. Interessant war, dass die Warnungen je nach Anlass unterschiedlich interpretiert wurden, zum einen als Aufforderung zur Kursänderung oder auch als Information über die Position in der Spur.

Le Blanc et al. (2006) und **Wilson (2008)** verglichen in einem zehnmonatigen von der National Highway Traffic Safety Administration beauftragten FOT einen zweistufigen Warner mit einer Kontrollgruppe. Die dazugehörigen Akzeptanzbewertungen wurden von **Brunetti Sayer, Sayer und Devonshire (2005)** ausgewertet. Der Assistent warnte in erster Stufe bei Überschreiten gestrichelter Linien visuell und haptisch (Sitzvibration). Die zweite Warnung erfolgte bei Überschreiten durchgezogener Linien und war visuell und auditiv. Neben der Spurverlassenswarnung beinhaltete das System außerdem noch eine Kurvengeschwindigkeitswarnung, die hier nicht betrachtet wird. Der Assistent verbesserte signifikant die Spurführung gegenüber der Kontrollgruppe, da die Spurschwankungen abnahmen, die Zahl der Spurüberschreitungen sank und nach einer Überschreitung zügiger wieder in die Spur zurückgekehrt wurde. Auch bei längerer Systemnutzung kam es nicht zu ungewünschten Fahrerhaltensanpassungen wie missbräuchlicher Systemnutzung. Der Assistent wurde als bequem, einfach benutzbar und sicherheitserhöhend durch die Fahrer bewertet, wobei weder die haptische noch die auditive Warnung präferiert wurde. Der Vorteil der haptischen Warnung wurde in der geringeren Ablenkung und alleinigen Wahrnehmbarkeit durch den Fahrer gesehen. Dagegen wurde die auditive Warnung als besser zwischen verschiedenen Systemen differenzierbar und verständlicher bewertet.

Alkim, Bootsma und Hoogendoorn (2007) ließen in einem Field Operational Test die Probanden nach Erhebung der Fahrleistung ohne System 4 Monate lang einen Spurverlassenswarner testen und dann für 1 Monat einen Eingriffsassistenten. Leider bezogen sich die berichteten Ergebnisse ausschließlich auf den Warn-Assistenten. Dieser gab beim Spurverlassen eine visuelle und eine gerichtete auditive Warnung aus. Die Spurschwankungen

nahmen ab und die Zahl der Spurverlassensereignisse sank um 30-35 %. Aufgrund disziplinierter Blinkernutzung verbesserte sich der Verkehrsfluss. Der Warn-Assistent wurde jedoch von den Nutzern ambivalent bewertet, einerseits als Möglichkeit, die Vigilanz zu steigern, andererseits störten die Warnungen und Nebentätigkeiten nahmen zu.

Buld und Krüger (2002) verglichen verschiedene Assistenzfunktionen für die Längs- und Querführung. Zur Unterstützung der Querführung wurden eine auditive Warnung, ein früher, weicher Eingriff und eine Kontrollgruppe verglichen. Diese Studie war neben der bereits beschriebenen Studie von Yoshida, Mouri, Sato und Nagai (2006) die einzige weitere Studie der Recherche, in der verschiedene Assistenzfunktionen miteinander verglichen wurden. Die Spurschwankungen waren mit auditiver Warnung am geringsten, was allerdings als Vermeidung des Nagelbandratterns interpretiert wurde. Die Herzrate war beim Eingriff höher als mit Warner oder ohne Assistenz. Die Probanden bewerteten das eingreifende System als entlastend, komfortabel und weniger Achtsamkeit erfordernd einerseits, aber andererseits als langweilig und ermüdend. Sie bewerteten den Warn-Assistenten zwar als hilfreich, aber auch als zusätzlich beanspruchend, wenig komfortabel und ablenkend. Somit zeigt sich in dieser Studie keine Assistenzfunktion deutlich der anderen überlegen.

Ishida, Tanaka, Kondo und Kawagoe (2002) untersuchten die Wirkung von 3 Eingriffen verschiedener Stärke auf das Spurhalten verglichen mit einer Kontrollgruppe. Die Eingriffsstärke variierte das vom Fahrer aufzubringende Lenkmoment und betrug 80 %, 60 % oder 40 % des notwendigen Lenkmoments. Im Gegensatz zu den meisten anderen Studien verbesserte sich die Spurführung durch die Assistenten nicht. Die Fahrer fühlten sich bei höheren Eingriffsgraden stärker vom System abhängig. Die Beanspruchung nahm allerdings mit steigendem Assistenzgrad ab und mit Assistenten hatten die Fahrer ein größeres Sichtfeld.

Zusammenfassung

Die Literaturrecherche beinhaltete 27 Studien zur Wirkung verschiedener Assistenzfunktionen bei bestimmten Fahrsituationen. Nur in 2 Studien führte das Assistenzsystem nicht zu einer verbesserten Fahrleistung und erhöhten Akzeptanz. In allen anderen Studien war die Fahrleistung mit Assistenzsystem immer besser als in der Kontrollbedingung, so dass eine Unterstützung durch Assistenz gegenüber dem Fahren ohne Assistenz grundsätzlich sinnvoll erscheint. Um zu zeigen, welche Assistenzfunktion in einer bestimmten Fahrsituation sinnvoll und anderen Funktionen überlegen ist, müssen die verschiedenen Funktionen für diese Situation miteinander verglichen werden. In den Studien wurde dieser Vergleich nur selten vorgenommen. Nur 2 der 27 Studien verglichen wenigstens 2 Assistenzfunktionen miteinander, nämlich Warnung und Eingriff. Keine Studie verglich alle 3 Funktionen miteinander, also Information, Warnung und Eingriff. In den restlichen 25 Studien wurde nur eine Assistenzfunktion mit einer Kontrollgruppe verglichen. Hinzu kommt, dass die Ergebnisse trotz der unterschiedlichen Funktionen sehr ähnlich waren. Beispielsweise führten alle Assistenzfunktionen im Vergleich zur Kontrollgruppe zu einer Reduzierung der Spurschwankungen und weniger deutlichen Spurübertritten.

Eine vergleichende Bewertung der Assistenzfunktionen anhand der einzelnen Studien erscheint problematisch, weil die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über die Studien hinweg aus mehreren Gründen nicht möglich ist. Zum einen wurden für manche Fahrsituationen nur bestimmte Assistenzfunktionen untersucht. Beispielsweise wurden für die Fahrsituationen „Ablenkung“ und „kurvige Strecke“ nur eingreifende Systeme untersucht, so dass dort eine Aussage über die beste Strategie gar nicht möglich ist. Außerdem erscheinen Vergleiche mit der informierenden Assistenzfunktion generell schwierig, da es insgesamt nur 2 Studien mit Be-

teilung informierender Systeme gab. Ferner ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse dadurch erschwert, dass die Umsetzung der Assistenzfunktionen von Studie zu Studie variierte. So wurde zum Beispiel entweder eine gerichtete oder eine ungerichtete Warnung dargeboten. Die auditive Warnung erfolgte entweder durch Nagelbandrattern, Glockenspieltöne oder nicht näher beschriebene Töne. Die haptische Warnung war als Sitzvibration, Lenkradvibration, Gaspedalvibration oder als Lenkmoment realisiert. Die Eingriffsassistenten waren in den Studien oftmals in Bezug auf ihre Stärke und ihren Eingriffszeitpunkt nicht genau beschrieben, so dass hier möglicherweise sehr unterschiedliche Systeme untersucht wurden. Eine weitere Einschränkung der Vergleichbarkeit ergibt sich aus den unterschiedlichen Testumgebungen Simulator, Realfahrt und Field Operational Test, die unterschiedlich valide und generalisierbare Aussagen ermöglichen. Zusätzlich variierte die Anzahl der Versuchspersonen je Studie und es wurden in jeder Studie unterschiedliche abhängige Variablen erhoben. Spurführungsmaße wurden fast immer erhoben, aber Akzeptanzmaße, Gewöhnungseffekte oder Lerneffekte wurden nur in wenigen Studien untersucht. Aussagen über die selteneren Maße sind daher problematisch.

Betrachtet man trotz dieser Einschränkungen dieselbe Assistenzfunktion über die verschiedenen Situationen hinweg, so finden sich etliche widersprüchliche Ergebnisse. Der Info-Assistent wurde einmal mit weniger Informationsgehalt, einmal mit mehr Informationsgehalt bevorzugt. Beim Warn-Assistenten führte das Lenkmoment mit Richtungsangabe zur besseren Leistung, teilweise war die Richtungsangabe aber auch irrelevant oder sie wurde missverstanden und es wurde falsch reagiert. Manchmal wurde sie auch gar nicht wahrgenommen. Einige Studien belegten, dass Fahrer an die auditive Warnung habituierten, andere Studien belegten das Gegenteil. Auditive Warnungen fanden sowohl gute Akzeptanz, in einigen Studien wurden sie jedoch als störend empfunden. Die Wirkung der Eingriffe war häufig positiv, da sie die Spurführung verbesserten, die Reaktionszeiten verkürzten, die Lenkanstrengung reduzierten und einen höheren Workload kompensieren konnten. Allerdings waren unter den Studien, die einen Eingriff untersuchten, die einzigen beiden Untersuchungen, in denen die Fahrleistung mit Assistenz nicht besser war als in der Kontrollgruppe.

2.3 Ergebnisse der Literaturrecherche zur Längsführungsassistenz

Von den 124 Studien zur Längsführung erfüllten 18 Studien die oben in der Einleitung genannten Kriterien. Wie Tabelle 2.8 zeigt, haben diese Studien die Wirkung der Assistenzsysteme in bestimmten Situationen wie beispielsweise plötzlichen Bremsmanövern oder Folgefahrten oder mangelnder Sicht untersucht. Diese Situationen können eine erhöhte Schwierigkeit für den Fahrer darstellen, so dass die Unterstützung durch ein Assistenzsystem sinnvoll sein kann. Einige Studien betrachteten neben der Fahraufgabe Folgefahren keine besondere Situation. Für jede Fahraufgabe in Tabelle 2.8 ist angegeben, wie viele Untersuchungen je nach Assistenzfunktion vorlagen. Die dargebotenen Assistenzfunktionen wurden wie bei der Querführung nach Information, Warnung und Eingriff klassifiziert. Da es nicht um Untersuchungen zur dauerhaften Unterstützung der Fahraufgabe ging, konnte nur eine Untersuchung mit einem aktiven Gaspedal verwendet werden. In dieser wurde nur vorübergehend bei Gefahr eingegriffen, während das aktive Gaspedal in den nicht berücksichtigten Studien dauerhaft in die Längsführung eingriff und daher als Teilautomation wirkte. Ebenso war das Adaptive Cruise Control (ACC) nicht Bestandteil der Untersuchung, da es weitgehend die Längsführung für den Fahrer übernimmt und sich zudem nicht einer der 3 Kategorien Informieren, Warnen oder Eingreifen zuordnen lässt. Aufgrund der Bedeutung des ACC

für die Längsführung werden am Ende des Kapitels jedoch einige zentrale Studien zur Wirkung des ACC vorgestellt.

Tab. 2.8: Studien zur Längsführungsassistenten. Angegeben ist die Anzahl der Studien, die zu den 3 Assistenzfunktionen Informieren, Warnen oder Eingreifen in den verschiedenen Fahraufgaben / Fahrsituationen vorliegen. Insgesamt lagen 18 Studienergebnisse vor.

	Information	Warnung	Eingriff	Information & Warnung	Information & Eingriff
Mangelnde Sicht	1	2	-	-	1
Verkehrsdichte	-	1	-	-	-
Plötzliche Bremsreaktion	-	7	-	-	-
Folgefahren oder Fahren ohne besondere Fahraufgabe (inkl. FOT)	1	4	-	1	-

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studien für jede Fahraufgabe bzw. Fahrsituation kurz dargestellt.

Mangelnde Sicht

4 Studien untersuchten die Wirkung von Assistenzsystemen bei mangelnder Sicht. Tabelle 2.9 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.9: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen bei mangelnder Sicht. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe.

	Information	Warnung	Eingriff
Mangelnde Sicht	Eingriff (aktives Gaspedal, TTC) > Information (Bremsweg) und Kontrollgruppe Janssen und Thomas (1997)		
	Information (visuell) > Kontrollgruppe Hollnagel (2003)	Warner intern und extern (visuell) >= Kontrollgruppe Boyle und Mannering (2004)	
		Warner (2-stufig je nach Gefahr, visuell und bei unmittelbarer Gefahr auditiv) > Kontrollgruppe Cacciabue und Martinetto (2006)	

Janssen und Thomas (1997) untersuchten die Frage, ob Assistenzsysteme zur Kollisionsvermeidung für alle Bedingungen gleich gestaltet sein sollten oder ob sie auf die externen Bedingungen wie beispielsweise Nebel abgestimmt sein sollten. Sie untersuchten dazu einen Informations-Assistenten, der eine rote horizontale Linie auf die Straße projizierte, die den eigenen Bremsweg verdeutlichen sollte. Dieser wurde mit 2 eingreifenden Gaspedalen und einer Kontrollgruppe in einem Zwischensubjekt-Design verglichen. Beide Eingriffsassistenten gaben als aktives Gaspedal bei einer TTC von 4 s eine Gegenkraft auf das Gaspedal, ein Assistent zusätzlich noch bei Unterschreitung des THW von 1 s zur Vermeidung dichten Auffahrens. Die 24 Probanden näherten sich im Fahrsimulator einem Fahrzeug an, das 10,

20, 30 oder 40 km/h langsamer fuhr und bei 25 % der Fahrten ein plötzliches Bremsmanöver unternahm. Die Fahrten fanden bei guter Sicht, bei Nacht oder bei Nebel statt. Das ausschließlich an die TTC gekoppelte aktive Gaspedal führte zur besten Fahrleistung, da die Fahrer damit weniger häufig geringe Abstände zum Vordermann erreichten ($THW < 1$ s) als in den anderen Bedingungen. Gleichzeitig führte es nicht zur Geschwindigkeitszunahme. Die leistungsverbessernde Wirkung dieses Systems hing allerdings nicht von den Sichtbedingungen ab. Dieses begründeten die Autoren damit, dass das TTC-Kriterium nicht nur die Entdeckung von Objekten unterstützte (die bei schlechter Sicht schwierig ist), sondern auch das Erkennen von deren Verhalten. Letzteres bestand darin zu erkennen, wann das Führungsfahrzeug erreicht ist und stellte auch bei guter Sicht eine Unterstützung für den Fahrer dar. Im Gegensatz zum Gaspedal führte der Informations-Assistent bei mangelnder Sicht am häufigsten zu geringen Abständen. Dieses begründeten die Autoren damit, dass die Anzeige des eigenen Bremsweges keinen Bezug zum Verhalten des Führungsfahrzeugs herstellte und die Fahrer daher nicht im Vermeiden kritischer Abstände unterstützt wurden.

Hollnagel (2003) untersuchte die Wirkung von Nachtsichtgeräten auf das Fahrverhalten. 40 Versuchspersonen fuhren im Fahrsimulator auf einer Landstraße, auf der einige Hindernisse (Elche, Wild, parkende Fahrzeuge, Fußgänger) erschienen. Ein Nachtsichtgerät stellte die Umgebung virtuell und weiter entfernt als in der Realität dar. Die Unterstützung durch das Nachtsichtsystem ermöglichte es den Versuchspersonen, die Hindernisse bereits bei einer Entfernung von 400 bis 500 m zu erkennen. Die Fahrer nutzten diese Zeit, um die Situation besser einzuschätzen und die Geschwindigkeit zu reduzieren. Sie zeigten außerdem geringere Schwankungen in der Querablage, was auf eine bessere Kontrolle über das Fahrzeug deutet. Entgegen der Erwartung führte der Gebrauch des Systems nicht zu einer höheren Geschwindigkeitswahl. Die Versuchspersonen bewerteten die Verbesserung der Sicht insgesamt gut, einige bemängelten jedoch den hohen Aufmerksamkeitsaufwand und Schwierigkeiten bei der Bewertung der Hindernisse. Der Autor nannte als primäre Aufgabe von Nachtsichtsystemen die Entdeckung von Hindernissen und nicht deren Erkennung, da bei Nacht gerade die Entdeckung beeinträchtigt ist.

Boyle und Mannering (2004) untersuchten die Wirkung von Verkehrswarnungen auf das Geschwindigkeitsverhalten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Die Warnungen bezogen sich auf Nebel, Kurven oder einen Schneepflug vor dem Fahrer und empfahlen eine Geschwindigkeitsreduzierung. Die Warnungen wurden entweder über variable Verkehrsschilder außerhalb des Fahrzeugs bzw. über ein Assistenzsystem im Fahrzeug über dem Armaturenbrett bzw. über beide Kanäle gegeben. Die Versuchsfahrten fanden im Simulator statt. Dort war ein realer Autobahnabschnitt nachgebildet, der für sein anspruchsvolles Streckenprofil und die strengen Wetterverhältnisse bekannt war. 51 Versuchspersonen im Alter von 16 bis 70 Jahren nahmen teil und mussten Erfahrungen mit dem betreffenden Autobahnabschnitt vorweisen. Die Assistenzbedingung bzw. die Kontrollbedingung wurden als Zwischensubjektfaktor dargeboten. Die Schwierigkeit der Fahraufgabe wurde durch die Wetterbedingungen (Nebel oder kein Nebel) und Verkehrseignisse (Schneepflug oder kein Schneepflug) variiert und wurde als Innersubjektfaktor dargeboten. Die Wirkung der Wetterbedingungen und Verkehrseignisse auf das Fahrverhalten war deutlich, generell wurde bei Nebel und mit Schneepflug langsamer gefahren und stärker in der Geschwindigkeit geschwankt. Hingegen war die Wirkung der Verkehrswarnungen auf das Fahrverhalten gering. Mittlere Geschwindigkeit, die Standardabweichung der Geschwindigkeit und minimale Geschwindigkeit unterschieden sich nicht zwischen den Assistenzbedingungen bzw. der Kontrollgruppe. Lediglich die maximale Geschwindigkeit war bei Unterstützung durch beide Systeme niedriger als in

der Kontrollgruppe. Allerdings wurde die geringe Wirkung der Assistenzsysteme durch Kompensationsverhalten der Fahrer verursacht. Die Analyse kürzerer Streckenabschnitte zeigte, dass die Fahrer in den gefährlichen und mit Warnungen versehenen Abschnitten zwar langsamer fuhren, aber nach Beendigung der Warnung in den ungefährlichen Abschnitten wieder schneller, um Zeitverluste zu kompensieren. Mögliche Sicherheitsverbesserungen in den gefährlichen Streckenabschnitten wurden damit nach Meinung der Autoren aufgehoben.

Cacciabue und Martinetto (2006) verglichen im Rahmen des Projektes EUCLIDE die Wirkung eines Warn-Assistenten mit einer Kontrollgruppe. Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Fahrerassistenzsystems zur Unterstützung bei schlechten Sichtbedingungen. In den ersten beiden Projektphasen wurden vor allem die Testszenarien und die Eigenschaften des Assistenzsystems definiert, das in 2 Stufen vor möglicher Gefahr oder unmittelbarer Gefahr warnte. Die erste Stufe sollte die Aufmerksamkeit des Fahrers wecken, während in zweiter Stufe gewarnt wurde, wenn eine sofortige Reaktion notwendig war. In beiden Stufen erfolgte die Warnung anhand von Symbolen im Head-up Display, in der zweiten Stufe ertönte zusätzlich ein Warnton. In der dritten Projektphase wurde der Warn-Assistent im Realverkehr von jüngeren (25 bis 35 Jahre alt) und älteren Fahrern (50 bis 65 Jahre alt) getestet. Jeder Fahrer fuhr mit aktivem oder inaktivem System. Die Sichtbedingungen wurden durch die Tageszeit und die Wetterbedingungen (Regen oder Nebel) variiert. Angaben über die Länge der Versuchsstrecke fehlten. Die Versuchspersonen bewerteten den Warn-Assistenten überwiegend mit ausreichend oder gut, wobei 23 % der Älteren ihn sehr gut bewerteten. Die Versuchspersonen fanden das System gerade bei Nacht und schlechten Wetterbedingungen nützlich. Das Fahrverhalten verbesserte sich durch das System, da die Versuchspersonen langsamer fuhren und kürzere Reaktionszeiten bei drohenden Kollisionen zeigten. Zusätzlich zu den Fahrttests erfolgte eine Expertenbewertung des Systems. Die Experten bewerteten positiv, dass Fahrer damit Gefahren gut antizipieren können und ihre Fähigkeit zur Gefahrenerkennung nicht verlieren. Gut befunden wurde auch, dass das System wenig Aufmerksamkeit erforderte und andere Verkehrsteilnehmer durch das System nicht in ihrer Sicherheit eingeschränkt wurden. Bemängelt wurden die Ablenkungsgefahr und die fehlende Benachrichtigung des Fahrers bei Fehlfunktionen.

Verkehrsdichte

Eine Studie hat die Wirkung von Assistenzsystemen bei hoher und niedriger Verkehrsdichte untersucht. Tabelle 2.10 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.10: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen bei unterschiedlicher Verkehrsdichte. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe.

	Information	Warnung	Eingriff
Verkehrsdichte		Warner (3 visuelle Stufen und Warnton) > Kontrollgruppe Fairclough et al. (1997)	

Fairclough, May und Carter (1997) untersuchten in Realfahrten auf Autobahnen mit 16 Probanden die Wirkung eines Warn-Assistenten auf das Folgeverhalten bei unterschiedlicher Verkehrsdichte. Der Warn-Assistent befand sich rechts neben dem Armaturenbrett und zeigte kontinuierlich auf einem Bildschirm einen dreigeteilten vertikalen Balken. Das obere rote

Drittel repräsentierte THW unter 1 s, das mittlere gelbe Drittel THW zwischen 1 und 2 s und das untere grüne Segment THW größer als 2 s. Bei Abständen von mehr als 2 s zum Führungsfahrzeug wurden alle 3 Segmente angezeigt. Beim Annähern an das Fahrzeug verschwanden dann bei Unterschreiten der genannten Grenzen das grüne bzw. das gelbe Segment, so dass die Gesamtbalkenlänge dem Abstand zum Führungsfahrzeug entsprach. Bei Erreichen des roten Segments gab es außerdem einen Warnton. Die Verkehrsdichte wurde durch die Tageszeit indirekt variiert. Verkehrsdichte und Systemaktivität wurden beide als Innersubjektfaktor untersucht. Die Autoren nahmen an, dass der Assistent bei hoher Verkehrsdichte eine geringere Wirkung zeigt. Anhand des Fahrzeitanteils, den sie mit THW unter 1 s verbrachten, wurde das Folgeverhalten der Probanden als vorsichtig, mittel oder drängelnd gruppiert. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Abstandsrückmeldung des Assistenten gerade bei Dränglern zu weniger Fahrzeit mit geringen Abständen (zwischen 0.5 und 1 s) und stattdessen mehr Fahrzeit mit höheren Abständen (zwischen 1 und 1.5 s) führte. Die Autoren führten dieses auf den bei THW < 1 s ertönenden Warnton zurück, der durch das Lenken der Aufmerksamkeit auf die Straße entsprechende Situationen verhindern konnte. Andererseits hatte die kontinuierliche Warnung laut Autoreninterpretation gestört und zum Vermeiden der Situation geführt. Als Ergebnis zeigte sich außerdem, dass der Assistent nur beim Folgefahren den Abstand erhöhte, nicht aber bei Annähern oder Zurückfallen. Ebenso erhöhte er den Abstand beim Initiieren von Überholvorgängen nur bei niedriger Verkehrsdichte, nicht aber bei hoher. Die Autoren interpretierten diese Ergebnisse so, dass die Probanden nur beim Folgefahren bzw. bei niedriger Verkehrsdichte selbstbestimmt den Abstand zum Führungsfahrzeug wählen konnten, was eine Voraussetzung für die Wirkung des Systems darstellte. Die Nutzung des Assistenzsystems verschlechterte nicht die Geschwindigkeitskontrolle und erhöhte nicht den Workload. Unklar blieb, ob die visuelle Komponente zur Erhöhung der THW beitrug, da es keine Befunde dafür gab. Da die vorsichtigen Folgefahrer aber wenige Warnungen erhielten und angaben, das System häufig genutzt zu haben, haben sie es möglicherweise proaktiv genutzt.

Plötzliche Bremsreaktion

7 Studien haben die Wirkung von Assistenzsystemen in Situationen untersucht, in denen das Fahrzeug vor dem Probanden plötzlich verzögerte. Tabelle 2.11 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.11: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen bei plötzlichen Bremsmanövern. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe.

	Information	Warnung	Eingriff
Plötzliche Bremsreaktion		Warner (visuell + auditives Icon), Warner (auditives Icon) > Warner (visuell + auditiver Warnton), Warner (aud. Warnton) Warner (visuell) Kontrollgruppe Belz, Robinson und Casali (1998)	

Plötzliche Bremsreaktion		Warner (früh) > Warner (spät) > Kontrollgruppe Lee et al. (2002)	
		Warner (früh) > Warner (spät), Kontrollgruppe Abe und Richardson (2005), Abe und Richardson (2006)	
		Warner (adaptiv) > Warner (nicht adaptiv) aber: Akzeptanz verbessern! Hjälmdahl und Thorslund (2006), Brouwer und Hoedemaeker (2006)	
		Warner (adaptiv) = Warner (nicht adaptiv), Kontrollgruppe Brouwer und Hoedemaeker (2006)	
		Warner (visuell-auditiv) > Warner (visuell), Warner (auditiv) Warner (visuell-taktil) Kontrollgruppe Kramer et al. (2007)	
		Warner (visuell + auditives Icon oder Warnton je nach Situation) > Warner (nur Warnton, ohne visuell) Fricke (2008)	

Belz, Robinson und Casali (1998) verglichen verschiedene uni- und multimodale Warn-Assistenten mit einer Kontrollgruppe. 24 Berufskraftfahrer fuhren im Simulator mit 2 unterschiedlichen Geschwindigkeiten, 2 unterschiedlichen Abständen und mit Unterstützung durch 5 verschiedene Warner bzw. ohne Assistenzsystem. Die unimodalen Warner bestanden entweder aus einem konventionellen Warnton, einem auditiven Icon (rutschender Reifen) oder einer visuellen Anzeige im Armaturenbrett (Piktogramm eines LKW von oben, Bereich vor dem Fahrzeug blinkt bei Gefahr). Die multimodalen Warner kombinierten die visuelle Anzeige mit dem Warnton oder mit dem auditiven Icon. Als abhängige Variable wurde die Reaktionszeit zwischen der Warnung und der Bremspedalbetätigung gemessen. Die kürzesten Reaktionszeiten gab es in den multimodalen Bedingungen oder mit dem auditiven Icon allein. Das auditive Icon konnte von 96 % der Fahrer interpretiert werden, der Warnton nur von 50 %. Die Autoren präferierten daher das auditive Icon. Die Warnung durch die visuelle Anzeige allein ergab die längste Reaktionszeit. Dieses begründeten die Autoren damit, dass sich die Anzeige außerhalb des Sichtfeldes befand und daher aufwändiger zu betrachten war.

Lee, McGehee, Brown und Reyes (2002) verglichen in 2 Studien die Wirkung früher und später Warnungen in Kollisionssituationen mit einer Kontrollgruppe. Sie untersuchten, ob Warnungen eher eine prompte Fahrerreaktion auslösen sollen, die wenig auf die Situationsbedingungen eingeht, oder ob Warnungen eher die Aufmerksamkeit auf die Straße lenken sollen, um dem Fahrer dann eine situationsadäquate Handlung zu ermöglichen. In der Hauptstudie der Untersuchung fuhren 120 Versuchspersonen im Fahrsimulator auf einer

Landstraße und einer Autobahn, auf der jeweils einmal das Führungsfahrzeug plötzlich bremste. Gleichzeitig waren die Fahrer durch eine Nebenaufgabe visuell, motorisch und kognitiv abgelenkt. Die Warnung erfolgte auditiv durch gehäufte Warntöne und visuell durch ein Piktogramm eines auffahrenden Fahrzeugs. Der Warnalgorithmus berücksichtigte den Sicherheitsabstand, die Reaktionszeit und die Verzögerung des Führungsfahrzeugs. Als unabhängige Variablen wurden der Warnzeitpunkt (früh oder spät), die Geschwindigkeit (56 bzw. 88 km/h je nach Straßenart) und die Kritikalität des Bremsmanövers (niedrig oder hoch, je nach Verzögerung des Führungsfahrzeugs und Abstand) variiert. Die Ergebnisse zeigten, dass der frühe und der späte Warner die Sicherheit bei drohenden Kollisionen gegenüber der Kontrollgruppe erhöhten, da sich die Anzahl der Kollisionen und die Kollisionsgeschwindigkeit reduzierten bzw. die minimale TTC erhöhte. Dabei wirkte die frühe Warnung noch besser als die späte und konnte die Kollisionshäufigkeit um 80 % und die Kollisionsschwere um 96 % reduzieren. Die Bremsreaktionszeiten zeigten, dass bei der frühen Warnung die Probanden schneller auf das bremsende Führungsfahrzeug durch Loslassen des Gaspedals reagierten als bei später oder keiner Warnung. Mit beiden Warn-Assistenten bremsten sie langsamer und dadurch vermutlich kontrollierter als in der Kontrollbedingung. Die Reaktionszeit zwischen dem Loslassen des Gaspedals bis zum Betätigen der Bremse war hingegen in beiden Warnbedingungen und der Kontrollgruppe gleich. Die Autoren folgerten, dass die Warnung hauptsächlich durch schnelles Loslassen des Gaspedals wirkte und der restliche Bremsverlauf eher durch visuelle und haptische Reize gesteuert und dadurch an die Situationsbedingungen angepasst wurde. Daher schien die Warnung eher die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die Straße zu lenken als eine prompte Bremsreaktion auszulösen. Die frühe Warnung war somit vorteilhaft, weil sie dem Fahrer mehr Zeit zur Situationsinterpretation und Handlungsauswahl verschaffte.

Abe und Richardson (2006) untersuchten die Wirkung früher und später Warnungen auf das Fahrverhalten und das Fahrervertrauen in verschiedenen Fahrbedingungen. 22 Teilnehmer absolvierten 2 Landstraßenstrecken im Simulator, einmal ohne Assistenz und einmal mit frühem bzw. spätem Warnton. Auf beiden Strecken wurde mit 3 verschiedenen Geschwindigkeiten (40, 60 und 70 mph) und 2 Folgeabständen (1.7 und 2.2 s THW) gefahren. In jeder der 6 Bedingungen gab es ein plötzliches Bremsmanöver des Führungsfahrzeugs. Der Warnalgorithmus beruhte auf der Differenz der Bremswege beider Fahrzeuge. Die Ergebnisse zeigten, dass bei hohen Anforderungen (kurze Folgeabstände) die Gesamtreaktionszeit vom Bremsereignis bis zum Bremspedalbetätigen durch einen frühen Alarm verbessert wurde. Wie bei Lee et al. kam diese Verbesserung durch schnelleres Loslassen des Gaspedals und nicht durch einen zügigeren Wechsel vom Gas- zum Bremspedal zustande. Bei großen Abständen konnte jedoch kein Warner die Reaktion gegenüber der Kontrollbedingung verbessern. Das Vertrauen in den Alarm war bei frühen Warnungen unabhängig vom Folgeabstand größer als bei späten Warnungen. Die Fahrer nahmen den frühen Alarm als zeitlich korrekt war, den späten als zu spät. Die Autoren folgerten, dass Warnungen bei hohen Anforderungen helfen, sofern sie früh erfolgen. Außerdem waren Fahrleistung und Vertrauen unabhängig voneinander, da der frühe Alarm bei hohen Abständen Vertrauen vermittelte ohne die Reaktion zu verbessern. Das Vertrauen hing eher vom Warnzeitpunkt und den Fahranforderungen ab als von der Fahrleistung. In einer weiteren Studie von **Abe und Richardson (2005)** wurden Geschwindigkeit und Folgeabstand konstant gehalten und die Aufgabenanforderung durch einen stark oder leicht verzögernden Vordermann variiert. Auch hier konnte die frühe Warnung gerade beim anspruchsvollen Bremsmanöver unterstützen und führte zu höherem Vertrauen.

Hjälmdahl und Thorslund (2006) verglichen im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes AIDE 2 Warn-Assistenten bei plötzlichen Bremsmanövern auf trockener oder rutschiger Straße. 32 Probanden fuhren auf einer Landstraße im Simulator, die in 5 km-Segmenten abwechselnd trocken oder nass war, und mussten in jedem Segment ein plötzliches Bremsmanöver ausführen. Sie wurden dabei entweder von einem nicht-adaptiven oder einem adaptiven Warn-Assistenten unterstützt. Letzterer berücksichtigte die Reibung der Straßenoberfläche bei der Berechnung des Bremswegs und warnte bei rutschiger Straße früher als bei trockener. Beide Warner warnten so lange bis der errechnete Grenzwert wieder überschritten war. Die Ergebnisse zeigten, dass bei rutschiger Straße langsamer gefahren wurde und es nur dort zu Kollisionen kam. Von den 12 Kollisionen fanden 3 mit dem adaptiven und 9 mit dem nicht-adaptiven Warner statt. Der adaptive Warner ermöglichte es den Fahrern auf trockener und feuchter Straße, bei Bremsmanövern eine höhere TTC als mit dem nicht-adaptiven Warner beizubehalten. Der adaptive Warner wirkte außerdem aber gerade bei rutschiger Straßenoberfläche. Während sich mit dem nicht-adaptiven Warner TTC und THW bei rutschiger Straße gegenüber trockener Straße verschlechterten, stiegen diese Werte mit dem adaptiven Warner sogar an. Die Reaktionszeit, für die hier die Zeit zwischen Warnung und Bremspedalbetätigung herangezogen wurde, verlängerte sich auf rutschiger Straße bei Nutzung des adaptiven Systems im Vergleich zum nicht-adaptiven System. Nach Interpretation der Autoren lag dieses daran, dass die Situationen mit dem adaptiven System weniger kritisch waren und die Fahrer daher mehr Zeit zum Einschätzen der Situation und zum Reagieren hatten. Die Akzeptanzbewertungen der Studie wurden von **Brouwer und Hoedemaeker (2006)** ausgewertet. Die Fahrer wurden vor und nach Nutzung der Systeme befragt. Beide Systeme wurden nach dem Experiment weniger positiv bewertet als davor. Nach Nutzung des Systems wollten die Fahrer das System weniger oft benutzen, eher im Nebel und bei Dunkelheit als auf rutschigen Straßen und weniger in der Stadt als zuvor gedacht. Der durch das System verursachte Stress war höher als vorher eingeschätzt. Die Bewertungsverschlechterung war für das adaptive Systeme noch deutlicher als für das nicht-adaptive. So waren beim adaptiven System die Irritationen hinterher stärker als gedacht. Die Autoren begründeten dieses mit der höheren Alarmquote, der hohen Fehlalarmquote des adaptiven Warners und damit, dass das System in der zur Verfügung stehenden Zeit noch nicht erlernt werden konnte.

In einer weiteren Studie des AIDE-Projektes verglichen **Brouwer und Hoedemaeker (2006)** 2 Warn-Assistenten und eine Kontrollgruppe bei plötzlichen Bremsereignissen wenn der Fahrer abgelenkt oder nicht abgelenkt war. Entsprechend bezog der adaptive Warn-Assistent die Fahrerablenkung in seine Bremswegberechnung ein und warnte früher als der nicht-adaptive Warner. Warnungen dauerten in diesem Experiment allerdings nur 2 s. 48 Teilnehmer fuhren dieselbe Strecke wie in der Studie von Hjälmdahl & Thorslund (2006) und wurden durch einen der beiden Warner oder gar nicht unterstützt. In 5 km-Segmenten wurden die Probanden abwechselnd durch eine Nebenaufgabe abgelenkt oder nicht. Die Ergebnisse waren bezüglich der Reaktionszeit vergleichbar mit o.g. Studie, unterschieden sich bezüglich der TTC und THW aber von obiger Studie. Die Fahrer zeigten auch in dieser Studie mit dem adaptiven Warn-Assistenten unter Ablenkung eine längere Reaktionszeit als ohne Ablenkung. Im Unterschied zur obigen Studie ging dieser mit der Nutzung des adaptiven Systems verbundene Zeitgewinn aber nicht mit sichereren Abständen zum Führungsfahrzeug einher. TTC und THW unterschieden sich nicht zwischen den Assistenzbedingungen. Die Fahrer bewerteten nach dem Experiment alle Systeme als sicherheitserhöhend. Der nicht-adaptive Warner wurde als weniger stressig wahrgenommen, der adaptive Warner hin-

gegen als irritierend und kontrollierend. Insgesamt fanden sich keine Belege für die Überlegenheit des adaptiven Systems. Nach Meinung der Autoren könnte der Systemnutzen aber trotzdem in der frühen Warnung gelegen haben, nur dass unmittelbares Handeln noch nicht erforderlich war.

Kramer, Cassavaugh, Horrey, Becic und Mayhugh (2007) verglichen in 2 Studien uni- und multimodale Warnstrategien bei jüngeren und älteren Fahrern. Jeweils 20 jüngere (18 – 26 Jahre alt) und ältere (61 – 82 Jahre alt) Probanden fuhren im Simulator auf einer dreispurigen Autobahn und überraschend erschien mit einer TTC von 2.12 s ein stehendes Fahrzeug vor ihnen. Zur Unterstützung erhielten die Probanden einen auditiven Assistenten (Warnton von vorn), einen visuellen Assistenten (horizontal über dem Armaturenbrett angebrachte blinkende LED-Leiste), eine visuell-auditive Warnkombination oder eine visuell-taktile Warnkombination (taktile Warnung durch Sitzvibration). Die Warn-Assistenten und die Kontrollbedingung ohne Assistenz wurden als Innersubjektfaktor dargeboten, das Alter war ein Zwischenfaktor. Die Ergebnisse zeigten, dass der visuell-auditive Warn-Assistent zur Reduzierung der Kollisionen gegenüber allen anderen Bedingungen und zur Verkürzung der Reaktionszeit gegenüber der Kontrollbedingung führte. Als Reaktionszeit wurde die Zeit zwischen dem Erscheinen des Führungsfahrzeugs und einer Fahrerreaktion bezeichnet. In der zweiten Studie war die Fahraufgabe durch Windböen und eine visuelle Nebenaufgabe erschwert. Jeweils 20 jüngere (19-30 Jahre alt) und ältere (65-82 Jahre alt) Probanden fuhren dieselbe Strecke wie in Studie 1. Zur Unterstützung erhielten sie den visuellen, den visuell-auditiven oder keinen Warn-Assistenten. Es zeigten sich dieselben Ergebnisse wie in Studie 1, da der visuell-auditive Warn-Assistent zur kürzesten Reaktionszeit und den wenigsten Kollisionen führte. Die Autoren folgerten, dass redundante Warnungen - speziell visuell-auditive Warnungen - unimodalen Warnungen überlegen sind und sich multimodale Warnungen in unterschiedlichen Fahrsituationen und Altersgruppen einsetzen lassen.

Fricke (2008) untersuchte ähnlich wie Lee et al. mit 160 Probanden im Simulator, ob Warn-Assistenten lediglich als Alarm die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die Straße lenken sollten oder ob sie auch eine Information über die Gefahrensituation übermitteln sollten. Als informative Warn-Assistenten wurden auditive Icons und eine LED-Leiste konzipiert. Erstere warnten durch Alltagsgeräusche, die gut mit ihrer Bedeutung assoziierbar sein sollten. Die LED-Leiste war unterhalb der Windschutzscheibe angebracht und blinkte an der Stelle drohender Gefahr, um eine räumliche Information zu übermitteln. Leider war nicht angegeben, an welches Kriterium die Warnungen gekoppelt waren. In einem Zwischensubjektfaktordesign wurden die auditiven Icons allein bzw. in Kombination mit der LED-Leiste mit einer einfachen Tonwarnung bzw. mit einer Tonwarnung in Kombination mit LED-Leiste verglichen. Die Warnungen wurden in 2 Kollisionsszenarien untersucht, in denen entweder ein Führungsfahrzeug mit deaktivierten Bremsleuchten plötzlich bremste oder ein Fahrrad zwischen parkenden Fahrzeugen auf die Fahrbahn fuhr. Im Fahrradszenario führte nur die räumliche Information der LED-Leiste zu einer kürzeren Bremsreaktionszeit, während die inhaltliche Information des auditiven Icons die Reaktion nicht beschleunigte. Im Autoszenario führten LED-Leiste und auditives Icon jeweils zu kürzen Reaktionszeiten. Die Probanden empfanden die einfache Tonwarnung als angemessen. Die LED-Leiste wurde sehr gut bewertet, wobei alle das Blinken und nur 14% der Probanden die räumliche Information wahrgenommen hatten. Die Autorin folgerte, dass bedeutungsvolle auditive Information je nach Situation nützlich waren, da das Autoszenario kritischer war als das Fahrradszenario. Dagegen verbesserte die LED-Leiste in beiden Situationen die Reaktionszeit, wurde aber nur von wenigen Probanden als räumliche Information wahrgenommen.

Folgefahren bzw. Längsführung ohne besondere Fahraufgabe

6 Studien haben die Wirkung von Assistenzsystemen in Situationen untersucht, in denen die Versuchsperson einem Fahrzeug folgen sollte. Tabelle 2.12 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tab. 2.12: Ergebnisse zur Wirkung von Assistenzsystemen beim Folgefahren. Dargestellt ist das jeweils beste System im Vergleich (>) zum unterlegenen System bzw. der Kontrollgruppe.

	Information	Warnung	Eingriff
Folgefahren	Warner (visuell-auditiv) > Info (visuell), Warner (visuell), Warner (auditiv), ...Kontrollgruppe Dingus et al. (1997)		
	Info (HUD mit Anzeige des Bremsweges) > Kontrollgruppe Tönnis et al. (2007)	Warner (auditiv) > Kontrollgruppe Groeger (1998)	
		Warner (visuell) > Kontrollgruppe Buld und Krüger (2002)	
		Warner (vis.-aud.) > Kontrollgruppe Shinar und Schechtman (2002)	
		FOT: Warn-Assi (vis.-auditiv) > Kontrollgruppe, baseline Young et al. (2007)	

Dingus, McGehee, Manakkal, Jahns, Carney und Hankey (1997) verglichen die Wirksamkeit eines Info-Assistenten und mehrerer Warn-Assistenten mit einer Kontrollgruppe beim Folgefahren. 16 Testfahrer absolvierten im Realverkehr 2 Fahrten von jeweils 40 km Länge auf Autobahnen und in Ortschaften und mussten dabei Nebenaufgaben ausführen. In der ersten Fahrt erhielt jede Versuchsperson eine digitale Geschwindigkeitsanzeige im Armaturenbrett. Bei dieser Fahrt wurde das normale Folgeverhalten gemessen. Bei der zweiten Fahrt wurden die Versuchspersonen entweder durch einen Info-Assistenten oder 3 Warn-Assistenten unterstützt. Der visuelle Info-Assistent zeigte digital den THW im Armaturenbrett an. Der visuelle Warn-Assistent zeigte eine Serie von 9 perspektivischen horizontalen Balken. Grüne Balken wurden bei einem THW von mindestens 1.6 s angezeigt. Gelbe Balken kamen mit sinkendem Abstand zum Führungsfahrzeug bis zu einem THW von 1.1 s hinzu und rote Balken bis zu einem THW von 0.9 s. Bei THW darunter begannen die roten Balken zu blinken. Der auditive Warn-Assistent warnte wiederholt bei einem THW unter 1.1 s mit „Look ahead“ und bei einem THW unter 0.9 s mit „Brake“. Der visuell-auditive Warner kombinierte die genannten visuellen und auditiven Warnungen. Die Ergebnisse zeigten keine Unterschiede zwischen den Assistenzbedingungen. Verglichen mit dem normalen Folgeverhalten der ersten Fahrt verbesserte sich das Abstandsverhalten jedoch unterschiedlich gut je nach Assistenzsystem. Sowohl mit visuellem Warner als auch mit visuell-auditivem Warner stieg der mittlere THW signifikant um jeweils 0.58 s an. Die rein auditive Warnung und die visuelle Information verbesserten das Abstandsverhalten nicht. Der auditive Warner unter-

stützte jedoch bei moderaten Bremsmanövern des Führungsfahrzeugs, da sich die Probanden nicht so stark annäherten. Die Autoren folgerten, dass konstantes Abstandhalten vor allem visuell unterstützt wurde, wobei die Abstandsinformation auf nützliche Art präsentiert werden musste. Auditive Warnungen waren zum Abstandhalten nicht geeignet, verbesserten aber das Situationsbewusstsein bei Bremshandlungen.

Die Untersuchung von **Tönnis, Lange und Klinker (2007)** wurde bereits in der Literaturrecherche zur Querführungsassistenz beschrieben. Tönnis et al. untersuchten 2 Info-Assistenten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, die sowohl die Längs- als auch die Querführung unterstützten. Der erste Info-Assistent zeigte einen Balken im Head-up Display an, der sich in der Entfernung des jeweiligen Bremsweges vor dem Fahrzeug befand und sich in Abhängigkeit von der Querablage seitlich verschob. Der zweite Info-Assistent zeigte zusätzlich zu dieser Information noch den zurückzulegenden Pfad bis zu diesem Balken an, was eher für die Unterstützung der Querführung hilfreich gewesen sein dürfte. Im Folgenden werden die für die Längsführung relevanten Ergebnisse dargestellt. Die Probanden fuhren in allen drei Bedingungen schneller als erlaubt. Mit dem zweiten Assistenten war die Geschwindigkeit jedoch signifikant höher als in der Kontrollbedingung. Ebenso kam es mit dem zweiten Assistenten zu signifikant stärkeren Geschwindigkeitsschwankungen als mit dem ersten oder in der Kontrollbedingung. Die Beanspruchung war mit dem ersten Assistenten am geringsten. Die Akzeptanz für den ersten Assistenten war ebenso am höchsten. Die Probanden gaben an, mit ihm am besten fahren zu können und insbesondere die Spur halten zu können. Somit galt, dass sich genau wie die Querführung auch die Längsführung durch die aufwändigere Visualisierung beim zweiten Assistenten verschlechterte. Der erste Assistent führte zu einem ähnlichen Längsführungsverhalten wie in der Kontrollbedingung, wurde aber subjektiv besser bewertet als eine Fahrt ohne Assistenz. Die Studie schien allerdings nur freies Fahren ohne Führungsfahrzeug zu untersuchen und kein Folgefahren.

Groeger (1998) untersuchte in Realfahrten die Wirkung eines Abstandswarners im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. 32 Fahrer fuhren 36 km in der Stadt, auf Landstraßen und Autobahnen mit Geschwindigkeitsbeschränkungen von 48, 64, 96 und 112 km/h. Die Hälfte der Probanden wurde von einem Warnassistenten unterstützt, der eine sprachliche Warnung ausgab („You are too close“), wenn ein THW von 1 s für mindestens 0.5 s unterschritten wurde. Als Ergebnis zeigte sich, dass der Assistent kritische THW reduziert, da seltener THW unter 1 s erreicht wurden. Dieses galt allerdings nur für die höheren Geschwindigkeitsbereiche. Videoauswertungen ergaben außerdem, dass sich die kritischen THW vor allem dann reduzierten, wenn einem LKW und keinem PKW gefolgt wurde. Der Autor schloss auf eine grundsätzlich Eignung des Assistenten zur Verhaltensbeeinflussung der Fahrer. Da jedoch die Wirksamkeit durch die Nutzung je nach Geschwindigkeitszone und Führungsfahrzeug limitiert war, wurden situationsabhängige Warnkriterien und –arten vorgeschlagen, um situationsspezifischer Verhaltensbeeinflussungen vornehmen zu können.

Im Rahmen des Projektes EMPHASIS untersuchten **Buld und Krüger (2002)** eine visuelle Längsführungsassistenz im Vergleich zu manuellem Fahren und auditiver Querführungsassistenz bzw. handlungsersetzender Quer- und Längsführungsassistenz. Der visuelle Assistent zur Unterstützung der Längsführungsaufgabe zeigte dem Fahrer in einem Display in der Mittelkonsole symbolisch ein Führungsfahrzeug und den Pfad dorthin an. Die Farbe wechselte mit Abnahme des Sekundenabstandes von hell- zu dunkelblau und warnte dadurch vor zu geringen Abständen. Zusätzlich wurden die Geschwindigkeit des Führungsfahrzeugs und der Abstand durch Ziffern eingeblendet. Im Vergleich zur manuellen Fahrt zeigten die Fahrer mit dem Warner eine verbesserte Längs- und Querführung. Mit System wurden im Durchschnitt

größere Sekundenabstände gehalten und verringerten sich die Abstände auch im Extremfall nie so stark wie bei manueller Fahrt. Die Querführung zeichnete sich durch ebenso geringe Spurschwankungen aus wie bei manueller Fahrt, was damit begründet wurde, dass bei visueller Unterstützung die fahrerische Handlung erhalten blieb und nicht wie z.B. bei ACC teilautomatisiert wurde. Subjektiv empfanden die Fahrer das Fahren mit dem Warner als weniger langweilig und waren aufmerksamer als ohne Unterstützung. Jedoch wurde das Fahren gleichzeitig als schwieriger und anstrengender empfunden und die Fahrer mussten mehr tun. **Shinar und Schechtman (2002)** untersuchten in einer Realfahrtstudie die Wirkung eines Warnassistenten auf den Abstand, der ohne Assistenz üblicherweise von Fahrern überschätzt wird. 43 Teilnehmer fuhren mit entsprechend ausgestatteten Fahrzeugen jeweils 3 Wochen mit inaktivem und aktivem Assistenzsystem. Der Assistent errechnete die THW und zeigte diese digital dem Fahrer an, wenn Werte unter 2.5 s erreicht wurden. Sank der Wert unter 1.2 s, so erschien zusätzlich ein rotes Warnlicht. Sank der Wert unter 0.8 s, so ertönte ein Warnton bis der Grenzwert wieder überschritten wurde. Die Fahrdaten wurden anhand dieser 3 THW-Kategorien ausgewertet. Ohne Assistenz fuhren die Probanden 20 % der Fahrtzeit mit geringen Abständen unter 0.8 s. Durch die Warnung reduzierte sich dieser Fahrtzeitanteil um ein Viertel, stattdessen wurde mehr Fahrtzeit mit den größeren Abständen von über 1.2 s verbracht. Die mittlere Abstandskategorie zwischen 0.8 und 1.2 s trat mit und ohne Assistenz gleich häufig auf. Dieses Abstandsverhalten blieb über die dreiwöchige Assistenzphase stabil und zeigte sich bei Männern und Frauen, bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Tageszeiten. Die Autoren folgerten, dass Rückmeldungen über den Abstand gut geeignet sind, damit auch erfahrene Fahrer mit größeren Abständen fahren.

Young, Regan, Triggs, Tomasevic, Stephan und Mitsopoulos (2007) untersuchten im Rahmen eines Field Operational Tests (FOT) die Wirkung einer Abstandswarnung über eine längere Nutzungsdauer. Neben dem Warn-Assistenten befand sich außerdem ein Assistenzsystem im Fahrzeug, das bei Geschwindigkeitsüberschreitungen warnte (Intelligent Speed Adaptation, ISA). 8 Versuchspersonen wurden als Kontrollgruppe von keinem dieser Systeme unterstützt. Die 15 Versuchspersonen der Experimentalgruppe absolvierten nach einer 200 km langen Gewöhnungsstrecke 3000 km als baseline-Messung ohne Assistenz und dann jeweils 3000 km mit der Abstandswarnung, der ISA oder einer Kombination aus Abstandswarnung und ISA. Nach jedem dieser drei permutierten Experimentaldurchgänge fuhren die Probanden 1500 km ohne Assistenz. Der Abstandswarner zeigte in einem Display links neben dem Armaturenbrett 6 perspektivische Balken an, die sich von oben nach unten je nach THW farblich füllten. Die oberen Balken erschienen gelb bei einem THW von 1.7, 1.4 bzw. 1.3s. Die unteren Balken erschienen rot und blinkten bei einem THW von 1.0, 0.9 bzw. 0.8s. Zusätzlich zum letzten Balken ertönte ein Warnton. Die Fahrdaten wurden getrennt für die unterschiedlichen Geschwindigkeitszonen der Strecke (50, 60, 80 und 100 km/h) ausgewertet und zeigen, dass der Abstandswarner in bestimmten Geschwindigkeitszonen (80 und 100km/h) den mittleren Abstand vergrößerte bzw. die Abstandsschwankungen (bei 50 km/h) reduzierte im Vergleich zur baseline-Messung. Diese Veränderungen gab es in der Kontrollgruppe nicht und sie wurden daher auf die Warnung zurückgeführt. Außerdem reduzierten sich die Fahrtzeitanteile mit THW, die unter 0.8 s lagen, um 69 %, was aufgrund der hohen Varianz allerdings nicht signifikant war. Vor der Nutzung bewerteten alle Fahrer die Abstandswarnung als nützlich, danach nur noch ein Drittel der Fahrer. Die Effektivitätsbewertung nahm nach der Nutzung jedoch zu. Der subjektive Workload unterschied sich vor und während der Systemnutzung nicht. Die Verbesserung des Folgeverhaltens hielt allerdings trotz der langen Systemnutzung nicht an und erreichte wieder das Vornutzungs niveau, was

die Autoren damit begründeten, dass die Fahrer aufgrund ihres konservativen Folgeverhaltens dem System wenig Einflussnahme ermöglichen.

Zusammenfassung

Die Literaturrecherche zur Längsführung umfasste 18 Studien zur Wirkung informierender, warnender bzw. eingreifender Assistenzsysteme in bestimmten Fahrsituationen bzw. bei bestimmten Fahraufgaben. In 2 Studien brachte das Assistenzsystem keine Verbesserung des Fahrverhaltens gegenüber der Kontrollgruppe oder einem anderen Assistenzsystem. Dagegen war in 16 Studien das Assistenzsystem der Kontrollgruppe überlegen, so dass auch bei der Längsführung die Unterstützung durch ein Assistenzsystem grundsätzlich sinnvoll erscheint. Auffällig war, dass 14 Studien Warn-Assistenten als Längsführungsassistenten untersuchten, aber nur in einer Studie ein Eingriff untersucht wurde. Somit gibt es bislang nur wenige Erkenntnisse über die Wirkung von Eingriffen, die ausschließlich in Gefahrensituationen aktiv werden. Möglicherweise liegt das daran, dass sich das ACC als Eingriffssystem bereits gut etabliert hat. Allerdings übernimmt das ACC als Teilautomation kontinuierlich die Längsführung vom Fahrer und nicht nur in Gefahrensituationen und stellt damit ein anderes Konzept dar. Nur 4 Studien untersuchten einen Info-Assistenten. Davon zeigten 2 Studien im HUD den Bremsweg an, der sich jedoch auf das eigene Fahrverhalten bezieht und keinen Bezug zum vorausfahrenden Fahrzeug herstellt. Gerade dieser Bezug ist aber bei bestimmten Situationen wie plötzlichen bremsenden Führungsfahrzeugen oder Annäherungsmanövern bei schlechten Sichtbedingungen essentiell. Die dritte Studie zeigte zwar den THW an, dieses aber digital im Display und nicht symbolisch als Balken wie bei vielen Warn-Assistenten. Ob die Info-Assistenten über die relevanten Informationen der Umgebung informierten und dieses in leicht verständlicher Form, scheint somit fraglich. Auffällig war außerdem, dass auch zum Thema Längsführung nur wenige Studien mehrere Assistenzkonzepte miteinander verglichen. Nur 2 Untersuchungen verglichen wenigstens 2 Assistenzfunktionen miteinander, nämlich einen Informations-Assistenten mit einem Warn-Assistenten bzw. einem Eingriff. Es gab keine Studie, die Informations-, Warn-Assistent und Eingriff verglich und daher keine vergleichende Bewertung der Systeme.

Vergleiche der Ergebnisse über die Studien hinweg sind aus einer Reihe von Gründen nicht möglich. Zum einen wurden nur bestimmte Systeme in bestimmten Situationen untersucht. Studien über Eingriffe liegen kaum und über Info-Assistenten nur spärlich vor, so dass es für viele Fahraufgaben und -situationen gar keine Erkenntnisse über alle 3 Assistenzfunktionen gibt. Die Vergleichbarkeit ist weiterhin dadurch erschwert, dass sich je nach Studie hinter jeder Assistenzfunktion unterschiedliche Konzepte verbargen. So diente der Info-Assistent in einigen Studien der Objekterkennung bei Nacht, in anderen informierte er über den Bremsweg oder über den THW. Der Warn-Assistent warnte teilweise in Abhängigkeit vom THW, teilweise in Abhängigkeit vom Bremsweg, der Bremswegdifferenz oder komplexeren Algorithmen. Somit wurde über sehr unterschiedliche Dinge informiert bzw. gewarnt. Hinzu kommt, dass je nach Studie auch recht unterschiedliche Aspekte der Assistenten verglichen wurden. In einigen Studien wurden frühe mit späten Warnungen verglichen, in einigen unimodale mit multimodalen oder abstrakte Warnungen mit informativen Warnungen. Die Vergleichbarkeit der Studien ist außerdem aufgrund ganz unterschiedlicher Realisierungen der Assistenten problematisch. So wurden die Assistenten beispielsweise im Armaturenbrett, neben dem Armaturenbrett, als HUD oder als externe Verkehrswarnungen angezeigt. Die Gestaltung der Assistenten war ebenfalls ganz unterschiedlich. Beispielsweise wurden die Warn-Assistenten häufig durch mehrere horizontale Balken dargestellt, die sich aber in ihrer

Anzahl, Farbgebung und in ihrem Aufbau unterschieden. Es gab aber auch Warnungen durch Piktogramme, durch horizontal unter der Windschutzscheibe angebrachte LED-Leisten, Sitzvibrationen, durch Warntöne, Sprachausgaben oder verschiedene Kombinationen der aufgezählten Arten. Die Warnungen erfolgten außerdem zu unterschiedlichen Zeitpunkten je nach Studie. Schließlich sind die Studien kaum miteinander vergleichbar, da sie unter unterschiedlichen Versuchsbedingungen stattfanden. So wurden die Ergebnisse unter unterschiedlichen Geschwindigkeiten, Straßenarten (Land, Stadt, Autobahn), mit oder ohne Ablenkung des Fahrers, mit unterschiedlicher Versuchspersonenanzahl und zu unterschiedlichen Tageszeiten und Straßenreiwerten erzielt. In einigen Studien wurden das Alter oder das Geschlecht der Probanden variiert, in anderen nicht. Die Studien wurden außerdem in unterschiedlichen Testumgebungen durchgeführt, im Simulator als Realfahrt oder als Field Operational Test. Schließlich unterschieden sich die Studien in den abhängigen Variablen. Die Variablen Kollisionsanzahl, Geschwindigkeitsverhalten, Reaktionszeiten, THW und TTC wurden zwar häufig erhoben, aber jeweils nur eine Auswahl davon. Die Akzeptanz der Systeme wurde in etlichen Studien gar nicht gemessen. Ansonsten wurden zur Akzeptanz ganz verschiedene Aspekte abgefragt, zum Beispiel Nutzungsbereitschaft, Vertrauen oder Ablenkung.

Betrachtet man dieselbe Assistenzfunktion über die verschiedenen Situationen hinweg, so zeigen sich wie bei der Querführung widersprüchliche Ergebnisse. So zeigten einige Studien die Vorteile multimodaler gegenüber unimodalen Warnungen, was damit begründet wurde, dass der Fahrer redundante Informationen erhält. In anderen Studien führte jedoch die Darbietung einer unimodalen Warnung, z.B. der LED-Leiste, zur besten Fahrleistung.

Studien zum ACC

Da ACC-Systeme sowohl informieren, warnen als auch eingreifen, sind sie mit den in dieser Arbeit untersuchten Strategien nicht vergleichbar. Das ACC soll laut Carsten (2004) den Fahrer beim Folgefahren zumindest auf Autobahnen und anderen Straßen mit hohen Geschwindigkeiten ersetzen. ACC stellen somit eine Teilautomation der Fahraufgabe dar. Der Anteil des Fahrers an der Fahrzeugführung ist geringer als bei den untersuchten informierenden, warnenden oder eingreifenden Systemen. Daher lässt sich in Studien zu ACC nicht mehr nur das alleinige Fahrerverhalten untersuchen, sondern eher ein Gesamtverhalten. Aufgrund der Bedeutung des ACC in der Literatur zur Längsführung und seines hohen Marktpotentials, werden nachfolgend einige zentrale Studien zur Wirkung von ACC dargestellt. Die Auswahl orientierte sich an einer Literaturrecherche von Vollrath, Briest und Oeltze (2010). Daraus wurden diejenigen Studien ausgewählt, die mehrere Assistenzfunktionen berücksichtigten und unterschiedliche Fahrsituationen untersuchten bzw. Autoren, die bereits mehrere Untersuchungen zu ACC durchgeführt haben. Tab. 2.13 zeigt die dargestellten Untersuchungen über die Wirkung von ACC im Überblick.

Tab. 2.13: Studien zum ACC. Dargestellt sind die Autoren, die untersuchten Fahrsituationen, die untersuchten Assistenzsysteme und die Wirkung auf Fahrsicherheit und Beanspruchung.

Autor(en), Jahr	Fahrsituation	Assistenzsysteme	Wirkung des ACC...	
			...auf die Fahrsicherheit	...auf die Beanspruchung
Hoedemaker et al. (1998), Hoedemaker und Brookhuis (1998)	Hohe bzw. niedrige Verkehrsdichte, plötzliche Bremsmanöver, Simulator	ACC in 3 Abstandsvarianten vs. Kontrollgruppe, (außerdem ACC überstimmbare oder nicht)	Eher negativ (geringerer Sekundenabstand, höhere Geschwindigkeit, stärkere Spurschwankungen)	Subjektiv mental entlastend
Fancher et al. (1998)	Field Operational Test	ACC in 3 Abstandsvarianten vs. Kontrollgruppe	Eher positiv (größere Abstände, weniger Gaspedalnutzung)	Subjektiv entlastend
Buld und Krüger (2002)	Annäherung und Folgefahren, Simulator	ACC vs. Kontrollgruppe (außerdem HC, warnende LF-Assi, warnender QF-Assi)	Eher negativ (niedrigerer mittlerer Sekundenabstand, verschlechterte Querführung, geringere Aufmerksamkeit)	Subjektiv entlastend, aber objektiv beanspruchend (Zunahme des Pulses)
Törnros et al. (2002)	Annäherungsmanöver und einsicherende Fahrzeuge auf Landstraße und Autobahn, Simulator	ACC in 3 Abstandsvarianten vs. Kontrollgruppe	Sowohl positiv (geringere Maximalgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsschwankungen) als auch negativ (längere Fahrzeit auf linker Spur)	Subjektiv (physische Beanspruchung) und objektiv (Herzratenaktivität) entlastend
Young und Stanton (2004)	Folgefahren mit konstanter Geschwindigkeit oder plötzliche Bremsmanöver, Simulator	ACC vs. Kontrollgruppe (außerdem AS und ACC + AS)	Nur bei anspruchsvoller Längsführung (plötzliche Bremsmanöver) ist Fahrleistung besser als in KG, ansonsten gleich	Subjektiv nehmen die Fahrer immer eine Entlastung wahr, objektive Entlastung nur bei anspruchsvoller Längsführung

Hoedemaker, Andriessen, Wiethoff und Brookhuis (1998) untersuchten die Fahrweise von 38 Probanden in einem statischen Fahrsimulator bei unterschiedlichen ACC-Konfigurationen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Das ACC wurde zum einen mit unterschiedlichen Sekundenabständen gefahren, die es zum Führungsfahrzeug hielt. Die Abstände betrugen 1s, 1.5s oder orientierten sich am individuell präferierten Abstand. Außerdem war das ACC entweder überstimmbare oder nicht. Jede Versuchsperson fuhr ohne Unterstützung und mit jeder der 6 ACC-Konfigurationen. Die Probanden wurden anhand des Driving Style Questionnaires (West et al., 1992, zitiert nach Hoedemaker et al., 1998) unterteilt in Fahrer mit hoher oder niedriger Ausprägung im Merkmal „speed“ (Tendenz zum schnellen Fahren) und im Merkmal „focus“ (Umgang mit Ablenkung beim Fahren). Die Aufgabe be-

stand darin, auf einer Autobahn bei unterschiedlich hoher Verkehrsdichte zu fahren. Die Ergebnisse zeigten, dass in allen 4 Fahrergruppen mit ACC grundsätzlich weniger Abstand gehalten wurde als in der Kontrollgruppe ohne ACC-Unterstützung. Dabei war bei Fahrten ohne ACC das Abstandsverhalten von der Ausprägung des Fahrers im Merkmal „speed“ beeinflusst, da Fahrer mit der Tendenz zum schnellen Fahren geringere Abstände bevorzugten und tatsächlich wählten als langsame Fahrer. Dagegen waren in Fahrten mit ACC diese Gruppenunterschiede reduziert. Das Merkmal „focus“ wirkte sich nicht auf die Abstandswahl aus. Ein wichtiges Ergebnis bestand darin, dass für die Akzeptanz der Systeme vor allem die Überstimmbarkeit des Systems relevant ist und nicht der Sekundenabstand. Das überstimmbare ACC wurde von fast allen Gruppen stärker akzeptiert als das nicht-überstimbare (nur die Gruppe mit geringer Tendenz zum schnellen Fahren bewertete nicht unterschiedlich). Hingegen wurde das ACC, das die individuell präferierten Sekundenabstände nutzte, nicht besser akzeptiert als das 1s- oder das 1.5s-ACC. Generell akzeptierten Fahrer mit Tendenz zum schnellen Fahren das ACC weniger als langsame Fahrer. In einer weiteren Auswertung dieser Studie zeigten **Hoedemaker und Brookhuis (1998)**, dass sich durch das ACC außerdem die Geschwindigkeit erhöht. Ohne ACC wurde mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 107 km/h gefahren, diese betrug mit ACC 115 km/h. Die ACC-Nutzung führte außerdem zu stärkeren Spurschwankungen im Vergleich zur Kontrollfahrt. Bei plötzlichen Bremsmanövern des Führungsfahrzeugs zeigten sich vor allem zwischen den beiden „speed“-Gruppen Unterschiede. Die schnellen Fahrer bremsen immer stark, unabhängig davon ob sie mit oder ohne ACC fuhren. Die langsamen Fahrer bremsen viel stärker wenn sie mit ACC fuhren als ohne und wurden also durch das ACC zu einem stärkeren Bremsverhalten veranlasst. Ähnliches gilt für den minimalen Sekundenabstand, der beim Bremsen erreicht wurde. Die langsamen Fahrer näherten sich mit ACC genauso dicht an wie die schnellen Fahrer, während sie ohne ACC mehr Abstand hielten. Von beiden Geschwindigkeitsgruppen wurde das Fahren mit ACC als weniger mental beanspruchend wahrgenommen als ohne ACC.

Fancher, Ervin, Sayer, Hagan, Bogard und Bareket (1998) verglichen in einem FOT das Fahren mit ACC, mit Tempomat und ohne Unterstützung. 108 Teilnehmer in 3 Altersgruppen fuhren für 1 Woche mit gewohnter Unterstützung als baseline-Messung, d.h. entweder manuell oder mit Tempomat. In den restlichen 2 bzw. 4 Wochen Versuchsdauer fuhren die Probanden entweder mit ACC oder manuell. Die Fahrstile wurden nach dem Driving Style Questionnaire (DSQ) unterschieden. Die Fahrer absolvierten mehr als 11000 Fahrten mit knapp 46000 Meilen. Das ACC konnte selbständig aktiviert und deaktiviert werden und es konnten verschiedene THW-Werte (1.1 s, 1.5 s oder 2.1 s) ausgewählt werden. Die Ergebnisse zeigten, dass das ACC im Durchschnitt von allen Probanden auf 30 % der Strecke aktiviert wurde und in 17.5 % der Fahrtzeit. 90 % aller Autobahnfahrten fanden mit ACC-Unterstützung statt. Das ACC wurde v.a. dann genutzt wenn dauerhaft Geschwindigkeiten von mindestens 55 mph gehalten werden konnten und bei langen Fahrten. Dagegen wählten die Fahrer in anspruchsvollen Verkehrssituationen oder bei hoher Verkehrsdichte eher die manuelle Fahrweise. Gerade bei schlechtem Wetter oder auf kurvigen Straßen wurde die ACC-Nutzung abgelehnt. Die Systemnutzung erfolgte auch unterschiedlich je nach Fahrstil. In Bezug auf ihr Abstandsverhalten sehr konservative Fahrer nutzten das ACC am seltensten und Extremfahrer, die stark in ihrer Geschwindigkeit schwankten, am häufigsten. Das Fahrverhalten mit ACC veränderte sich dahin, dass aufgrund der Systemeinstellungen größere Abstände zum Führungsfahrzeug gehalten wurden. Während bei manueller Fahrweise häufig das Gaspedal betätigt wird, um den Abstand zum Führungsfahrzeug zu modulieren,

ist dieses mit ACC nicht der Fall. Die Geschwindigkeit nahm mit ACC eher zu, was aber auch daran gelegen haben kann, dass die Fahrer das System nur in sicheren Situationen nutzten (in denen sie dann auch zügiger fuhren) oder dass das System auch in Konfliktsituationen die Geschwindigkeit hielt, in denen die Fahrer bei manuellem Fahren verzögern würden. ACC und Tempomat wurden im Vergleich zum manuellen Fahren auch subjektiv bewertet. Das ACC wurde komfortabler eingeschätzt als die beiden anderen Bedingungen und 84 % der Probanden haben dieses am ersten Nutzungstag empfunden. Das ACC wurde als sicherheitserhöhend eingeschätzt, jedoch als nicht so sicher wie das manuelle Fahren. Die Benutzerfreundlichkeit des ACC wurde am höchsten eingeschätzt, möglicherweise auch deshalb, weil das System durch die hohen Abstandseinstellungen genug Zeit zum Kennenlernen verschaffte. Das ACC stellte gegenüber dem manuellen Fahren oder dem Fahren mit Tempomat den präferierten Betriebszustand dar, im Geschwindigkeitsbereich von 35 – 85 mph nutzten die Fahrer das ACC auf 53 % der Strecke, den Tempomat nur auf 35 %.

Im Rahmen des Projektes EMPHASIS führten **Buld und Krüger (2002)** eine Reihe von Studien durch zum Vergleich von informierenden/warnenden und handlungsersetzenden Systemen zur Längs- und Querführung mit manueller Fahrweise. In einer Studie wurde das ACC u.a. mit manuellem Fahren verglichen. 12 Versuchspersonen absolvierten im Fahrsimulator wiederholt Annäherungsmanöver mit unterschiedlichen Differenzgeschwindigkeiten (20 km/h, 30 km/h bzw. 50 km/h) und Folgefahrten. Die Fahrten fanden auf Landstraßen und Autobahnen statt. Die Ergebnisse zeigten eine verschlechterte Fahrleistung durch das ACC, da die Probanden damit stärker um die Spurmitte schwankten als ohne. Außerdem wählten sie mit ACC im Durchschnitt einen niedrigeren Sekundenabstand als bei manueller Fahrweise. Das System verhinderte jedoch das Erreichen so niedriger minimaler Abstände wie es ohne Unterstützung der Fall war. Der mittlere Puls nahm durch das ACC zu. Subjektiv wurde das ACC jedoch als weniger anstrengend und entlastend empfunden. Die Probanden fanden das Fahren mit ACC weniger schwierig, sie mussten weniger tun und auch weniger achtsam sein. Andererseits war es langweiliger und die Fahrer waren weniger aufmerksam.

In 2 Studien untersuchten **Törnros, Nilsson, Östlund und Kircher (2002)** im Fahrsimulator den Einfluss von ACC bei der Bewältigung unkritischer oder kritischer Fahrmanöver im Vergleich zur manuellen Fahrt. Die Fahrmanöver umfassten verschiedene Annäherungssituationen an Führungsfahrzeuge und Situationen, in denen ein Fahrzeug vor dem Probanden einscherte bzw. vom Straßenrand aus startete. Die erste Studie beinhaltete Fahrten über 120 km auf Autobahnen und Landstraßen. Jeder der 24 Probanden fuhr mit und ohne ACC-Unterstützung, erhielt aber nur eine der 3 Abstandseinstellungen (0.8 s, 1 s oder 1.5 s). Als abhängige Variablen wurden die Fahrleistung, die subjektive Beanspruchung und Akzeptanzwerte erhoben. Die zweite Studie diente der Erhebung weiterer Beanspruchungsmaße in Form physiologischer Beanspruchung und einer Zweitaufgabenleistung (Peripheral Detection Task). An dieser Studie nahmen 8 Versuchspersonen teil, die nur auf der Autobahn fuhren und nur die ACC-Einstellung mit 1 s THW erhielten. Die Ergebnisse zeigten einige positive Einflüsse des ACC auf die Verkehrssicherheit, da die maximale Geschwindigkeit sank und die intraindividuellen Geschwindigkeitsschwankungen abnahmen. Allerdings wurde mit ACC auch länger auf der linken Spur der Autobahn gefahren. Außerdem waren in den unkritischen Fahrmanövern die minimalen TTC-Werte mit ACC geringer als ohne, allerdings auf einem so hohen Niveau, dass die Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigt war. Die Nutzung des ACC hatte keinen Einfluss auf die Querführung und den Abstand beim Überholen. Die Probanden nahmen durch das ACC eine geringere physische Beanspruchung wahr, die durch entsprechende Herzratenaktivität der zweiten Studie belegt wurde. Das ACC wurde

gut akzeptiert, es wurde als nützlich und leicht zu erlernen empfunden und würde häufig genutzt werden. Die präferierten Abstandswerte lagen zwischen 1.5 s und 3.2 s und damit deutlich über den verwendeten.

Young und Stanton (2004) verglichen in 2 Experimenten ein ACC mit einer manuellen Fahrt, mit einem Active Steering-System (AS) zur Unterstützung der Querführung und mit einer Kombination aus ACC und AS. 12 Versuchspersonen folgten im Fahrsimulator auf einer einspurigen Straße einem Fahrzeug und wurden von einer der Assistenzbedingungen als Innersubjektfaktor unterstützt. In beiden Experimenten waren die Probanden instruiert, einen konstanten Abstand zum Führungsfahrzeug zu halten. Im ersten Experiment fuhr dieses mit einer konstanten Geschwindigkeit von 112 km/h auf gerader Strecke. Im zweiten Experiment bremste das Führungsfahrzeug dagegen in unregelmäßigen Zeitabständen von 112 km/h auf 48 km/h ab, bevor es wieder auf die Ausgangsgeschwindigkeit beschleunigte. Hier bestand die Strecke aus geraden und kurvigen Abschnitten. Aufgrund der plötzlichen Bremsmanöver und der Streckenführung waren die Längs- und Querführungsaufgabe im zweiten Experiment anspruchsvoller als im ersten. Erhoben wurden Fahrdaten und die mentale Beanspruchung durch Messung einer Zweitaufgabenleistung sowie subjektiven Fahrerangaben (NASA-TLX, Hart & Staveland, 1988). Im ersten Experiment waren weder die Quer- noch die Längsführungsleistung bei Unterstützung durch das ACC besser als in der manuellen Fahrt. Obwohl das ACC dem Fahrer die Längsführungsaufgabe abnahm, verbesserte sich auch nicht die Leistung in der Zweitaufgabe während der Fahrt mit ACC-Unterstützung. Lediglich subjektiv nahmen die Fahrer in der ACC-Bedingung eine geringere Beanspruchung wahr als bei manueller Fahrt. Im zweiten Experiment hingegen wirkte sich das ACC auf die Fahrleistung aus, da es die Bremsbewegungen des Führungsfahrzeugs nachvollzog. Dadurch konnte mit ACC ein konstanter Abstand zum Führungsfahrzeug gehalten werden. Mit diesem Abstandhalten waren Geschwindigkeitsanpassungen verbunden. Bei manuellem Fahren schwankten die Fahrer hingegen ständig im Abstand, da sie eher die Geschwindigkeit hielten. Die Querführungsleistung verbesserte sich durch das ACC nicht. Die mentale Beanspruchung war sowohl in Bezug auf die Zweitaufgabenleistung als auch in Form der subjektiven Angaben mit ACC geringer als in der manuellen Fahrt. Die Autoren folgerten aus den Ergebnissen, dass das ACC seine positive Wirkung auf die Fahrleistung und die Beanspruchung erst dann zeigen konnte, wenn die Längsführungsaufgabe, wie im zweiten Experiment realisiert, auch ausreichend schwierig war. Hingegen war das Folgefahren bei konstanter Geschwindigkeit, so wie es im ersten Experiment umgesetzt war, für erfahrene Fahrer automatisch und ohne starke Beanspruchung zu erledigen, so dass das ACC keine Entlastung schaffen konnte. Die ausbleibende Verbesserung der Querführung im zweiten Experiment zeigte aber auch, dass die mit dem ACC frei gewordenen Ressourcen nicht zur Verbesserung der Spurführung genutzt wurden.

Zusammenfassung

Die beschriebenen Studien untersuchten Fahrverhalten, Beanspruchung und Akzeptanz beim Fahren mit ACC. Die Studienergebnisse zum Fahrverhalten sind teilweise uneinheitlich. Es wird von größeren als auch geringeren Abständen zum Führungsfahrzeug berichtet, genauso von höheren wie auch geringeren Geschwindigkeiten beim Fahren mit ACC. Weitere Fahrsicherheitsverschlechterungen bestanden in einer höheren Standardabweichung der Querabweichung, stärkeren Bremsmanövern und häufigerem Fahren auf der linken Spur der Autobahn. Positiv wirkte das ACC hingegen durch geringere Abstandsschwankungen zum Führungsfahrzeug und geringere Gaspedalaktivität. Die Beanspruchung beim Fahren mit

ACC stellte sich in allen Studien hingegen recht einheitlich dar. Subjektiv wurde das Fahren mit ACC als entlastend gegenüber dem manuellen Fahren empfunden. Diese Entlastung wurde allerdings nicht für eine Verbesserung der Querführung genutzt. Die Akzeptanz des ACC fiel in den Studien ebenfalls eher positiv aus. Es wurde als nützlich, komfortabel und leicht erlernbar bewertet, andererseits aber auch als langweilig. Interessant sind die Ergebnisse des Field Operational Test, da sie zeigen, wann Fahrer überhaupt ein ACC nutzen würden. Hier zeigte sich, dass es vor allem auf langen Strecken mit einer Mindestgeschwindigkeit genutzt wurde und nicht bei schlechtem Wetter, auf kurvigen Strecken oder bei hoher Verkehrsdichte. Somit scheint es auch bei Assistenzsystemen im Bereich der Teilautomation sinnvoll, dem Fahrer eine situationsabhängige Nutzung des Systems zu ermöglichen.

Da in dieser Recherche nur einige zentrale Studien dargestellt wurden, geben sie nicht den vollständigen Erkenntnisstand zur Wirkung von ACC wieder. Die ausführliche Literaturrecherche von Vollrath, Briest und Oeltze (2010) bestätigt die teilweise uneinheitlichen Ergebnisse in der Literatur. Zusammenfassend wurde dort festgestellt, dass das ACC zu geringeren Abständen führte, sich die Geschwindigkeit in der Mehrzahl der Studien reduzierte und sich die Querführung verschlechterte. Außerdem zeigte sich, dass durch die höhere Automation Reize, die für die Geschwindigkeitsregelung wichtig sind, nicht mehr so gut verarbeitet wurden. Daher folgerten die Autoren, dass die teilweise Übernahme der primären Fahraufgabe durch das ACC zwar zu einer Entlastung des Fahrers führe, aber gleichzeitig vermutlich eine gute Repräsentation der Situation verhindere und dadurch der Fahrer bei kritischen Situationen erst spät eingreife. Diese Befunde unterstützen die in dieser Arbeit beschrittene Vorgehensweise, Assistenzfunktionen zu untersuchen, bei denen der Fahrer aufgrund des geringeren Automatisierungsgrades stärker in die Fahraufgabe eingebunden bleibt und dadurch möglicherweise ein besseres Situationsbewusstsein erhalten bleibt.

2.4 Fazit zur Literaturrecherche

Fasst man die Literaturbefunde zur Wirkung von Assistenzsystemen bei Aufgabenanforderungen der Quer- und Längsführung zusammen, so überwiegt die Anzahl der Studien, in denen die Nutzung des Assistenzsystems zu einer Verbesserung der Fahrleistung führt. Die verschiedenen Assistenzfunktionen scheinen daher grundsätzlich positiv auf die Fahrleistung zu wirken, so dass generell eine Unterstützung des Fahrers sinnvoll erscheint. Wie eingangs genannt sollte die Literaturrecherche Aufschluss über einige Fragestellungen zur Wirkung von Assistenzsystemen und deren Abstimmung mit der Situation geben, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Welche Erkenntnisse über die Wirkung von Assistenzsystemen bei bestimmten Anforderungen liegen bereits vor?

Insgesamt lagen 45 Studien zur Wirkung von Assistenzsystemen zur Unterstützung bei der Quer- und Längsführung vor. Davon untersuchten 41 Studien lediglich eine Assistenzfunktion in verschiedenen Auslegungen bzw. im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Die resultierenden Ergebnisse lieferten eine Reihe von parallelen Erkenntnissen darüber, warum das jeweilige Assistenzsystem das Fahrverhalten gegenüber der Kontrollgruppe verbessern konnte. Beispielsweise zeigte sich, dass zur Unterstützung der Längsführung bei mangelnder Sicht ein Info-Assistent in Form eines Nachtsichtgerätes hilfreich war, da dieser eine bessere Situationseinschätzung ermöglichte. In einer anderen Studie waren in dieser Situation allerdings Warnungen am wirksamsten, da sie die Reaktionszeit der Fahrer reduzierten und in einer weiteren Studie war ein Eingriff in Form eines aktiven Gaspedals am wirksam-

ten, da dieser das Verhalten vorausfahrender Fahrzeuge berücksichtigte. Insgesamt schien somit jede Assistenzfunktion bestimmte Eigenschaften aufzuweisen, die zu einer Verbesserung des Fahrverhaltens in der untersuchten Situation führten.

Problematisch ist es allerdings, die Erkenntnisse über die verschiedenen Assistenzfunktionen zusammenzuführen, da die Studien nicht vergleichbar sind und daher die Erkenntnisse der Einzelstudien nicht in Bezug zueinander gesetzt werden können. Ein wesentliches Problem ist außerdem, dass in nur 4 Studien 2 Assistenzfunktionen miteinander verglichen wurden und in keiner Studie alle 3 Assistenzfunktionen. Dadurch kann anhand der Literaturbefunde keine Aussage darüber getroffen werden, welche Assistenzfunktion im Vergleich zu anderen Assistenzfunktionen bei bestimmten Anforderungen die wirksamste Unterstützung darstellt.

Charakteristisch für den bisherigen Forschungsstand ist außerdem, dass in Bezug auf etliche Anforderungen Erkenntnisse nicht über die Wirkung aller Assistenzfunktionen vorliegen. So gibt es beispielsweise keine Untersuchungen über die Wirkung von Info-Assistenten oder Eingriffen zur Unterstützung bei plötzlichen Bremsreaktionen. Generell fehlen Befunde über eingreifende Assistenzsysteme für die Längsführung fast vollständig und Befunde über Info-Assistenten zur Unterstützung der Quer- und Längsführung sind nur sehr spärlich vorhanden. Somit weist also die Matrix, die sich aus den Befunden über die Wirkung der verschiedenen Assistenzsysteme bei den verschiedenen Anforderungen aufspannt, etliche Wissenslücken auf.

Ein weiteres Defizit der bisherigen Befunde betrifft die Aussagekraft der Untersuchungen. Die meisten Untersuchungen beschränken sich in ihren Aussagen zur Wirkung der Assistenzsysteme auf Ergebnisse zum Fahrverhalten, während beispielsweise die Wirkung auf die Beanspruchung und die Akzeptanz der Systeme durch die Fahrer kaum berücksichtigt werden. Durch diese eingeschränkte Perspektive können manche Fragestellungen gar nicht beantwortet werden, beispielsweise ob ein Assistenzsystem, das das Fahrverhalten verbessert, überhaupt von den Fahrern akzeptiert und genutzt würde.

Zusammenfassend zeigen die bisherigen Literaturbefunde eine Fülle an nicht vergleichbaren Einzelaussagen über die einzelnen Assistenzfunktionen, die zudem lückenhaft sind und deren Aussagekraft sich meistens auf das Fahrverhalten beschränkt. Das Hauptdefizit bisheriger Untersuchungen liegt vor allem darin, dass Vergleiche verschiedener Assistenzsysteme innerhalb einer Studie fehlen und daher Aussagen über das wirksamste System bei einer bestimmten Anforderung nicht möglich sind.

Erscheint anhand der Literaturbefunde eine Abstimmung von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung sinnvoll?

Obwohl die Literatursuche anhand allgemeiner Suchbegriffe zur Fahraufgabe (z.B. lateral control) durchgeführt wurde, wurden überwiegend Studien gefunden, die nicht die Bewältigung der Fahraufgabe generell untersuchten, sondern nur für ganz bestimmte Anforderungen oder in ganz spezifischen Fahrsituationen wie z.B. plötzlichen Bremsreaktionen. Diese identifizierten Anforderungen bzw. Situationen waren zudem meist Gegenstand mehrerer Studien, so dass hier anscheinend eine übereinstimmende Meinung in der Literatur über besonders fordernde Situationen vorlag. Somit wurde bereits anhand der Art der Suchergebnisse deutlich, dass in der Literatur anscheinend bereits ein Bewusstsein darüber existierte, dass Unterstützung besonders dann wichtig ist, wenn der Fahrer in bestimmten Situationen besonders gefordert ist. Zudem wurden bereits etliche Anforderungsbereiche identifiziert, in denen dieser Unterstützungsbedarf besteht.

Einige Studien wiesen außerdem explizit darauf hin, eine Unterstützung des Fahrers an die Anforderungen zu koppeln. Beispielsweise erwiesen sich in einer Studie Querführungseingriffe als umso wirksamer, je höher die Anforderungen aufgrund situativer Faktoren wie Kurven waren. Als Konsequenz folgerten die Autoren, Fahrerassistenzsysteme an die Fahranforderungen anzupassen (Vollrath und Totzke, 2005). Eine andere Studie zeigte, dass bei plötzlichen Bremsereignissen ein Warn-Assistent dann wirksamer war, wenn er bei rutschiger Straße frühzeitiger warnte als bei trockener und damit an die Situation adaptierte (Hjälmdahl und Thorslund, 2006). Eine weitere Studie zeigte einen unterschiedlichen Unterstützungsbedarf für unterschiedliche Fahraufgaben auf, da sich für konstantes Abstandhalten eher ein Info-Assistent als geeignet erwies, für Bremsmanöver hingegen eher ein Warn-Assistent (Dingus et al., 1997). Diese Beispiele zeigen, dass über das oben angesprochene generelle Bewusstsein für die Relevanz der Anforderungen hinaus für einzelne Situationen oder Fahraufgaben bereits die Wirksamkeit eines damit abgestimmten Assistenzsystems belegt wurde.

Als Fazit der Literaturrecherche wurde deutlich, dass in der bisherigen Forschung die Bedeutung der Anforderungen einer Fahraufgabe bzw. einer Situation bereits als relevant für die Wirksamkeit von Assistenzsystemen erkannt und in Einzelfällen auch belegt wurde. Gleichzeitig zeigte sich jedoch, dass systematische Untersuchungen, in denen die Wirkung verschiedener Assistenzsysteme bei bestimmten Anforderungen anhand verschiedenartiger Parameter verglichen wurde, fehlen. Daher sind bislang keine Aussagen darüber möglich, welche Assistenzfunktion bei bestimmten Fahranforderungen die wirksamste Unterstützung darstellt. Darüber hinaus kann anhand der bisherigen Erkenntnisse auch noch nicht gefolgert werden, dass ein mit den Anforderungen einer Aufgabe abgestimmtes Assistenzsystem den Fahrer am wirksamsten unterstützt.

2.5 Methodische Erfordernisse der eigenen Untersuchung

Anhand der betrachteten Literaturbefunde wurden einige Erfordernisse deutlich, die die eigene Untersuchung der Fragestellung, ob Fahrerassistenzsysteme mit den Anforderungen einer Fahraufgabe abgestimmt werden sollten, erfüllen musste.

Als besonders wichtig erschien dabei, eine systematische Variation der Assistenzfunktionen vorzunehmen und diese für verschiedene Aufgabenanforderungen zu untersuchen.

Eine systematische Variation der Assistenzfunktionen bedeutete, dass stets alle zu untersuchenden Assistenzfunktionen in einer Untersuchung miteinander verglichen wurden. Demzufolge wurden in jeder Studie der vorliegenden Arbeit ein Info-Assistent, ein Warn-Assistent und ein Eingriff berücksichtigt. Dadurch war eine Aussage darüber möglich, welche Assistenzfunktion bei der untersuchten Anforderung am wirksamsten unterstützte und warum sie besser unterstützen konnte.

Die systematische Untersuchung der Assistenzfunktionen sollte zudem für verschiedene Aufgabenanforderungen erfolgen, um für ein möglichst breites Spektrum von Anforderungen Erkenntnisse über die Wirksamkeit der Assistenzfunktionen zu gewinnen und die Ergebnisse generalisieren zu können. Demzufolge wurden in vorliegender Arbeit in Anlehnung an die Assistenzfunktionen die Anforderungen für den Fahrer in unterschiedlichen Studien entweder im Bereich der Informationsaufnahme, der Handlungsplanung oder der Handlungsausführung variiert und für diese jeweils die Wirksamkeit der obengenannten Assistenzfunktionen untersucht.

Anhand der Literaturbefunde wurden außerdem zwei Aspekte bei der Umsetzung der Assistenzfunktionen deutlich, die die Vergleichbarkeit der Assistenzfunktionen einschränkten.

Zum einen wurden oftmals verschiedene Assistenzfunktionen miteinander verglichen, die sich nicht nur in ihrer Funktion, sondern auch in der Qualität ihrer Assistenz unterschieden. So wurde beispielsweise eine Informationsfunktion mit einem Eingriff verglichen (Janssen und Thomas, 1997), wobei die Information allerdings nur das eigene Verhalten einbezog, während der Eingriff auch das Verhalten des Führungsfahrzeugs einbezog. Für einen validen Vergleich der Wirksamkeit der Assistenzfunktion sollten daher in vorliegender Arbeit Assistenzfunktionen konzipiert werden, die sich nur in ihrer Funktion und nicht in ihrer Qualität unterscheiden. So sollte beispielsweise die Informationsanzeige des Info-Assistenten anhand einer Anzeige des Abstands genauso das Führungsfahrzeug einbeziehen wie die Warnung oder der Eingriff.

Ein weiterer Punkt zur Umsetzung der Assistenzfunktionen betraf die Abgrenzung der Funktionen voneinander. Insbesondere die Umsetzung der eingreifenden Systeme variierte in der Literatur sehr stark. Oftmals übernahm der Eingriff die Fahraufgabe so weitgehend, dass er auch informierende und warnende Funktionen übernahm und der Fahrer nur noch wenig selbst tun musste. Um aber zu verstehen, wie die untersuchte Assistenzfunktion wirkt, erschien es für die vorliegende Arbeit wichtig, die Unterstützung der 3 Assistenzfunktionen auf ihre jeweilige Funktion zu beschränken und die jeweils nicht unterstützten Funktionen dem Fahrer zu überlassen. So sollte beispielsweise der Info-Assistent die Informationsaufnahme durch Anzeige relevanter Informationen unterstützen, jedoch die Handlungsplanung und Handlungsausführung dem Fahrer überlassen. Auf der anderen Seite des Spektrums sollte der Eingriff den Fahrer weite Teile der Fahraufgabe selbständig ausführen lassen und nur die Handlungsausführung übernehmen. Dieses implizierte, dass der Eingriff im Fahrgeschehen erst spät – also beispielsweise bei drohendem Verlassen der Spur – aktiv werden konnte und eher zur Verhinderung von Notfällen als zur dauerhaften Handlungsausführung dienen konnte.

Ein letzter Punkt betraf den Umfang der Studien. Um eine Aussage über die Wirksamkeit der Assistenzfunktionen aus verschiedenen Perspektiven zu erhalten, erschien es hier wichtig, in der Arbeit nicht nur das Fahrverhalten zu untersuchen. Zusätzlich sollte auch die Beanspruchung der Fahrer gemessen werden, um zu kontrollieren ob ein verändertes Fahrverhalten möglicherweise mit einer Veränderung der Beanspruchung einher ging. Außerdem sollte die Akzeptanz der Systeme beim Fahrer erhoben werden, da die Akzeptanz einen der wesentlichen Bausteine für die Erfolgsmessung innovativer Systeme darstellt (Enigk & Polkehn, 2003).

II Empirischer Teil

3 Methode

Zur Untersuchung der Fragestellung der Arbeit, ob Assistenzfunktionen mit den Anforderungen einer Fahraufgabe oder Situation abgestimmt sein sollten, wurden 4 Studien durchgeführt. In jeder Studie wurden die Probanden bei den Fahrten von einem informierenden, warnenden oder eingreifenden System unterstützt oder sie fuhren ohne Assistenz. Die Aufgabenanforderungen waren entweder in Bezug auf die Informationsaufnahme, die Entscheidungsfindung oder die Handlungsausführung erschwert. Anknüpfend an die identifizierten methodischen Anforderungen wird im Folgenden dargestellt, wie die beiden unabhängigen Variablen der Untersuchung – die Assistenzfunktionen und die Aufgabenanforderungen – realisiert wurden. Darauf folgt eine Beschreibung der Versuchsumgebung und zum Schluss werden die abhängigen Variablen und deren Erfassung dargestellt.

3.1 Variation der Assistenzfunktionen

Die Umsetzung der Assistenzfunktionen orientierte sich an den verschiedenen Automatisierungsarten nach Parasuraman, Sheridan & Wickens (2000), die in der Einleitung dargestellt wurden. Nach dieser Kategorisierung gibt es 4 verschiedene Automatisierungsarten, von denen für die vorliegende Untersuchung die Informationsakquisition und die Informationsanalyse zur Informationsaufnahme zusammengefasst wurden. Im Folgenden wird beschrieben, nach welchen allgemeinen Prinzipien die 3 untersuchten Automatisierungsarten realisiert wurden. Die je nach Experiment spezifische Umsetzung wird detailliert bei der Darstellung der einzelnen Experimente beschrieben.

Die Assistenzfunktion zur Unterstützung der Informationsaufnahme sollte die Wahrnehmung, Organisation und Verarbeitung eingehender Informationen auf Basis der Rohdaten unterstützen. Für die untersuchten Fahrsituationen gehörte dazu vor allem die Anzeige von Informationen, die beispielsweise aufgrund von Nebel für den Fahrer nicht sichtbar waren. Außerdem sollte sich die Anzeige auf diejenigen Informationen beschränken, die für das Verhalten des Fahrers relevant waren, so dass eine Filterung aller vorhandenen Informationen in Bezug auf ihre Relevanz erfolgte. Die angezeigte Information wurde dem Fahrer jedoch uninterpretiert auf Basis der Rohdaten übermittelt, um die Handlungsplanung beim Fahrer zu belassen. Dazu war es notwendig, die Information kontinuierlich anzuzeigen, um eine objektive Entscheidungsgrundlage zu liefern und durch eine zeitlich befristete Darstellung nicht bereits eine Interpretation der Situation zu geben.

Die Assistenzfunktion zur Unterstützung der Entscheidungsfindung und Handlungsplanung sollte den Situationsverlauf hinsichtlich seiner Vor- und Nachteile bewerten und aus möglichen Handlungsalternativen eine Handlung empfehlen. Für die untersuchten Szenarien bedeutete dieses vor allem, bei Gefahr den Fahrer zu warnen und ein sicheres Fahrverhalten zu empfehlen. Dieses bestand je nach Fahraufgabe in einem Bremsmanöver oder in einem Lenkmanöver.

Die Assistenzfunktion zur Unterstützung der Handlungsausführung sollte bei der konkreten Handlungsausführung unterstützen bzw. das Handeln des Fahrers ersetzen. Dazu gehörte bei den untersuchten Szenarien, das Fahrzeug zur Verhinderung eines Aufpralls abzubremesen bzw. das Fahrzeug in die Spur zurückzulenken. Wie bereits bei den methodischen Erfordernissen der eigenen Untersuchung beschrieben, durfte der Eingriff nicht zu früh aktiv

werden, um dem Fahrer nicht die komplette Fahraufgabe abzunehmen, und wurde daher erst bei akuter Gefahr aktiv.

3.2 Variation der Aufgabenanforderungen

Um die Nützlichkeit einer Abstimmung von Assistenzfunktionen mit den Anforderungen einer Aufgabe untersuchen zu können, orientierten sich die dargebotenen Aufgabenanforderungen an der Klassifikation der Assistenzfunktionen. Für die beiden grundlegenden Fahraufgaben der Längs- bzw. Querführung waren entweder die Informationsaufnahme oder die Entscheidungsfindung (Längsführung) bzw. die Informationsaufnahme oder die Handlungsausführung (Querführung) erschwert. Im Folgenden wird beschrieben, welche Erkenntnisse in der Literatur zu den genannten Anforderungen bereits vorlagen.

In der ersten Längsführungsstudie wurden die Anforderungen im Bereich der Entscheidungsfindung bzw. Handlungsplanung variiert. Literaturbefunde wiesen darauf hin, dass die Erwartbarkeit des Bremsereignisses dazu eine geeignete Möglichkeit darstellt. So waren nach Rumar (1990) Probleme beim Abstandhalten nicht nur auf Schwierigkeiten bei der Informationsaufnahme (als sogenannte bottom-up Verarbeitung), sondern auch auf kognitive Fehler hinsichtlich der Erwartungsbildung über das künftige Verkehrsgeschehen (als top-down Verarbeitung) zurückzuführen. Van der Hulst, Meijman und Rothengatter (1999) zeigten, dass Fahrer aufgrund gebildeter Erwartungen das Bremsmanöver eines Führungsfahrzeugs antizipieren konnten. Dadurch war es möglich, das eigene Verhalten bereits vor Eintreten des Bremsmanövers anzupassen und außerdem bei Eintritt des Bremsereignisses zügiger das Gaspedal zu lösen. Green (2000) führte eine Meta-Analyse über Reaktionszeiten bei Bremsmanövern des Führungsfahrzeugs durch und identifizierte die Erwartbarkeit von Bremsmanövern als wichtigste Einflussgröße für die Dauer von Reaktionszeiten. Die längeren Reaktionszeiten bei unerwarteten Bremsereignissen wurden unter anderem auf längere Zeiten für die Handlungsplanung zurückgeführt.

Anhand der Studien wurde deutlich, dass die Antizipierbarkeit eines Bremsereignisses einen wesentlichen Einfluss auf die Entscheidungsfindung und Handlungsplanung des Fahrers hatte. Erwartete Bremsereignisse ermöglichten eine Vorhersage über das Verhalten des Führungsfahrzeugs. Dagegen konnten Fahrer bei überraschenden Bremsereignissen den Situationsverlauf nicht antizipieren und erst mit Start des Bremsereignisses mit der Handlungsplanung beginnen. Für die vorliegende Untersuchung wurden daher unterschiedliche Anforderungen im Bereich der Handlungsplanung durch eine unterschiedliche Erwartbarkeit des Bremsereignisses operationalisiert.

In der zweiten Längsführungsstudie wurden die Anforderungen im Bereich der Informationsaufnahme variiert. Hier wiesen Literaturbefunde nach, dass Nebel die Wahrnehmung beeinträchtigte und sich daher zur Variation der Anforderungen bei der Informationsaufnahme eignete. So wurde bei Nebel eine Reduzierung der Kontraste aufgrund der Streuung des Lichts durch Partikel in der Atmosphäre identifiziert. Diese führte einerseits zu einer Reduzierung der Sichtweite (Paulmier, 2004) und dadurch zu einer beeinträchtigten Wahrnehmung visueller Reize. Außerdem konnten die Fahrzeugumrisse eines Führungsfahrzeugs schlechter wahrgenommen werden und dadurch auf das Verhalten des Führungsfahrzeugs später reagiert werden (Caro et al., 2009). Yonas & Zimmerman (2006) zeigten zudem, dass aufgrund reduzierter Kontraste die Wahrnehmung von Annäherungen an ein Führungsfahrzeug erschwert wurde, da die Wahrnehmungsschwelle für die optische Ausdehnung auf der Reti-

na stieg. Dadurch konnten Annäherungsmanöver erst bei geringerer Distanz zum Führungsfahrzeug wahrgenommen werden, so dass sich die zur Verfügung stehende Reaktionszeit reduzierte.

Anhand der Studien wurde deutlich, dass Nebel die Aufnahme relevanter Informationen wie beispielsweise die Wahrnehmung von Fahrzeugumrissen und von Annäherungen an ein Führungsfahrzeug erschwerte. Die Informationsaufnahme war erst später im Annäherungsmanöver möglich als bei guter Sicht und hatte zur Konsequenz, dass der Fahrer auch erst später reagieren konnte bzw. weniger Zeit zum Reagieren zur Verfügung hatte. Für die vorliegende Arbeit wurden daher die Anforderungen im Bereich der Informationsaufnahme dadurch operationalisiert, dass die Fahrer entweder bei guter Sicht oder bei Nebel fuhren.

In der ersten Querführungsstudie wurden die Anforderungen im Bereich der Handlungsausführung variiert. Literaturbefunde zeigten, dass sich die Kurvenradien einer zu befahrenden Strecke auf die Güte der Handlungsausführung auswirkten (z.B. Gawron & Ranney, 1990). Nach van Winsum (1996) richtete sich der vom Fahrer zu wählende erforderliche Lenkwinkel nach dem Kurvenradius und der Geschwindigkeit. Bei niedrigeren Kurvenradien waren vom Fahrer höhere Lenkwinkel einzustellen, die zu höheren Lenkfehlern führten, d.h. zu größeren Abweichungen zwischen korrektem und gewähltem Lenkwinkel. Die Fahrer kompensierten diese aufgrund des Kurvenradius bedingte Fehlerzunahme durch eine Reduzierung ihrer Geschwindigkeit, wodurch sie die Zeit bis zu einer Überschreitung des Fahrspurrandes (TLC) konstant halten konnten.

Anhand der Studien zeigte sich, dass die Variation des Kurvenradius eine Möglichkeit zur Beeinflussung der Aufgabenanforderungen auf der Handlungsebene darstellt. Niedrige Kurvenradien sind mit engen Kurven verbunden und erfordern höhere Lenkwinkel als hohe Kurvenradien. Die Lenkwinkel werden mit zunehmender Größe fehlerhafter, da die Fahrer dann in ihrem Lenkverhalten zunehmend vom idealen Lenkverhalten abweichen. Somit wird es bei sinkenden Kurvenradien zunehmend schwieriger für den Fahrer, den für den Radius erforderlichen Lenkwinkel einzustellen. Für die vorliegende Arbeit wurden daher die Anforderungen im Bereich der Handlungsausführung durch verschieden große Kurvenradien operationalisiert und außerdem eine Kompensation der Anforderungen seitens der Fahrer durch die Aktivierung eines Tempomaten mit vorgegebener Geschwindigkeit verhindert.

In der zweiten Querführungsstudie wurden wie im zweiten Längsführungsexperiment die Anforderungen im Bereich der Informationsaufnahme variiert. Wie dort bereits dargestellt, führt Nebel zu einer Beeinträchtigung der Wahrnehmung. In Bezug auf die Querführung ist anhand etlicher Studien belegt, dass die Wahrnehmung bestimmter visueller Reize bedeutsam für die Lenkkontrolle in Kurven ist. Zwar unterschieden sich die Studien hinsichtlich der vom Fahrer zu fixierenden Punkte, da beispielsweise entweder der Tangentialpunkt (Land & Lee, 1996), ein Referenzpunkt im Umfeld des Tangentialpunktes (Mars, 2008) oder ein beliebiger salienter Punkt in der Fahrspur (Salvucci & Gray, 2004) als Fixationspunkt identifiziert wurden, jedoch handelte es sich immer um eine vorausschauende Fixation künftiger Streckenpunkte. Diese Vorausschau wurde durch den Nebel eingeschränkt und erschwerte damit die Kontrolle der Trajektorie durch den Fahrer (Malaterre, Hary & Quéré, 1991; zitiert nach Caro, 2009).

Anhand der Studien zeigte sich, dass sich anhand von Nebel die Informationsaufnahme im Bereich der Querführung variieren lässt, da aufgrund der erschwerten Wahrnehmung künftiger Streckenpunkte der Fahrer erst spät die Kurvenkrümmung und seine künftige Trajektorie

bestimmen kann. Durch die mangelnde Vorausschau muss der Fahrer die dann gewählte Trajektorie häufiger kontrollieren und korrigieren als bei guter Sicht. Für die vorliegende Arbeit wurden daher die Anforderungen im Bereich der Informationsaufnahme dadurch operationalisiert, dass die Fahrer eine kurvige Strecke entweder bei guter Sicht oder bei Nebel befahren.

3.3 Beschreibung der Versuchsumgebung

Beide Studien zur Querführung wurden im Virtual-Reality-Labor (VR-Labor) durchgeführt, während die Durchführung der Längsführungsstudien aufgrund des mit dem Brems-Assistenten verbundenen erforderlichen Bewegungseindrucks im dynamischen Fahrsimulator erfolgte. Im Folgenden werden beide Laborumgebungen beschrieben.

Virtual-Reality-Labor

Die Studien zur Untersuchung der Anforderungen im Bereich der Querführung wurden in dem vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelten Virtual-Reality-Labor (VR-Labor) durchgeführt. Das VR-Labor dient der frühen und kostengünstigen Evaluierung neuer Assistenzsysteme. Es besteht im Wesentlichen aus einem immersiven Projektionssystem (CAVE, Cave Automatic Virtual Environment), einer PC-basierten Simulationsumgebung und einem Fahrersitz mit Human Machine Interface (HMI)-Bedienelementen (Cockpit, Lenkrad, Gaspedal und Bremspedal). Der übrige Innenraum des Fahrzeuges ist virtuell dargestellt (Stöbe & Schröder, 2003). Wie in Abbildung 3.1 zu sehen ist, ist das VR-Labor ein Drei-Seiten-Cave, in dessen Mitte der Proband auf einem Fahrersitz Platz nimmt und in einer 270° füllenden Projektion sein Fahrzeug in der simulierten Fahrumgebung steuert. Dazu zählen neben virtuellen Landschaften auch andere Verkehrsteilnehmer, deren Verhalten anhand von Skripten programmierbar und reproduzierbar ist. Eine Sound-Ausgabe erzeugt entsprechende Umwelt- und Motorengeräusche oder kann anhand von Sprachausgaben die Fahrer beispielsweise zum Beenden der Fahrt auffordern.

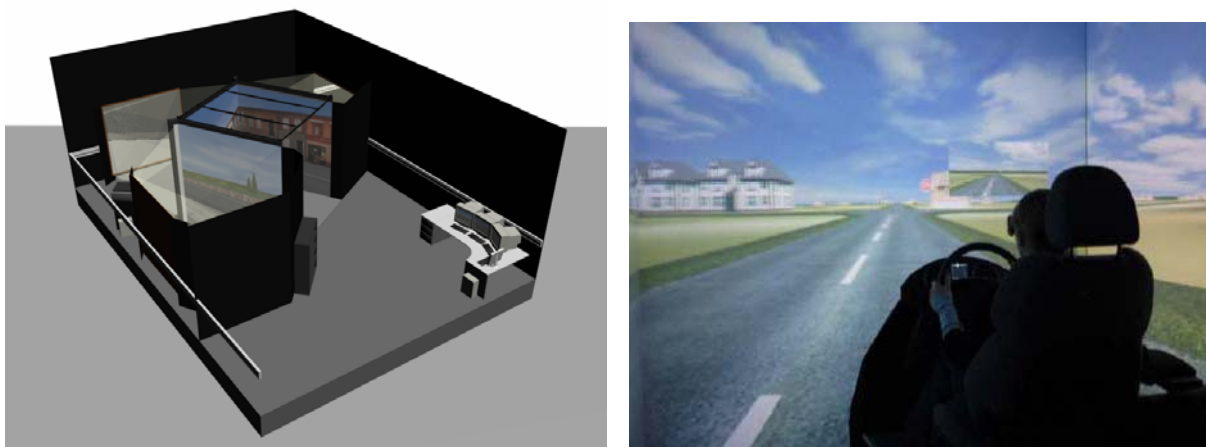


Abb. 3.1: Virtual-Reality-Labor des DLR. Dargestellt sind der Aufbau (links) und die Visualisierung mit Fahrersitz (rechts).

Dynamischer Fahrsimulator

Die Studien zur Untersuchung der Anforderungen im Bereich der Längsführung wurden im dynamischen Fahrsimulator des DLR durchgeführt. In Abbildung 3.2 ist der Simulator dargestellt. Gegenüber dem VR-Labor zeichnet sich der Fahrsimulator durch ein realistischeres Fahrgefühl aus, das durch ein leistungsstarkes Bewegungssystem, ein hochwertiges Projek-

tionssystem mit einer entsprechenden Visualisierung und die Integration eines kompletten Fahrzeugs erzielt wird.



Abb. 3.2: Dynamischer Fahrsimulator des DLR. Dargestellt sind der Simulator in der Simulatorhalle (links) und das Fahrzeugcockpit (rechts).

Das Bewegungssystem des Fahrsimulators zeichnet sich durch den weltweit erstmaligen Einsatz eines Hexapod-Systems aus, bei dem die Kabine unterhalb der oberen Gelenke eingehängt ist. Diese neuartige Konstruktion ermöglicht große lineare Bewegungen von etwa 3 Metern trotz geringer Bauhöhe. Zudem sind in diesem System alle Freiheitsgrade unabhängig voneinander steuerbar. Der Simulator zählt mit seiner Nutzlast von ca. 1.3 Tonnen und in Tabelle 3.1 beschriebenen Daten zu den leistungsfähigsten Fahrsimulatoren Europas.

Tab. 3.1: Technische Daten des dynamischen Fahrsimulators des DLR.

	Weg / Winkel	Geschwindigkeit	Beschleunigung
Längs	±1,5 m	±2 m/s	±10 m/s ²
Quer	±1,4 m	±2 m/s	±10 m/s ²
Vertikal	±1,4 m	±2 m/s	±10 m/s ²
Rollen	-20 ° / +21 °	±50 °/s	±250 °/s ²
Nicken	±21 °	±50 °/s	±250 °/s ²
Gieren	±21 °	±50 °/s	±250 °/s ²

Ein hochwertiges Projektionssystem sorgt für die Visualisierung von Umwelt und Verkehrsgeschehen. Ein großes Blickfeld nach vorne und zu den Seiten (270° x 40°), verbunden mit einer hohen Auflösung von insgesamt etwa 9200 x 1280 Pixeln, ermöglicht eine detailreiche Darstellung. Neben dem Blickfeld nach vorne kann der Proband auch das simulierte Verkehrsgeschehen hinter sich über den Rückspiegel auf einem Bildschirm sowie über LC-Displays in den Seitenspiegeln beobachten.

Für den realistischen Gesamteindruck ist die unmittelbare Umgebung des Fahrers von großer Bedeutung. Daher wurde ein komplettes Fahrzeug in die Kabine integriert, mit dem der Proband den Simulator „fährt“. Die Aktionen des Fahrers werden über CAN-Bus an die Simulationsrechner übermittelt, umgekehrt steuert das Simulationssystem die Instrumente im Cockpit, die dem Fahrer z.B. Auskunft über seine Geschwindigkeit geben. Alle vom Fahrer gemachten Eingaben und Aktionen, vom Bremsen über das Lenken bis hin zum Bedienen des Autoradios, können aufgezeichnet und ausgewertet werden. Anzeigen und Bedienelemente lassen sich bei Bedarf ergänzen oder ersetzen. Komplettiert wird der Gesamteindruck durch ein Surround-Soundsystem, das die Umgebungs- und Fahrzeuggeräusche über die eingebauten Lautsprecher wiedergibt.

3.4 Messung der abhängigen Variablen

Zur Untersuchung der Wirkung der Assistenzsysteme wurden subjektive und objektive Daten erhoben, um die Wirkung der Systeme aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten und damit ein umfassendes Bild der Wirkung der Assistenzsysteme zu erhalten. Zentral war stets die Beschreibung der Wirkung der Assistenzsysteme auf das Fahrverhalten anhand objektiver Fahrdaten. Ferner wurde der Einfluss der Assistenzsysteme auf die subjektiv wahrgenommenen Aufgabenanforderungen (anhand von Fragebögen) und die objektiv messbare Beanspruchung (anhand physiologischer Messdaten) erhoben. Als vierte Perspektive wurde die Akzeptanz der Assistenzsysteme bei den Fahrern betrachtet. Im Folgenden werden die für alle Versuche geltenden Vorgehensweisen zur Erhebung und Verarbeitung der Daten kurz beschrieben, während versuchsspezifische Vorgehensweisen in den Angaben der einzelnen Studien zu finden sind.

Fahrdaten

Das Fahrverhalten der Probanden wurde mit einer Rate von 30 Hz aufgezeichnet. Nach dem Versuch wurden in den gespeicherten Dateien mit Hilfe eines Visual Basic-Skriptes im Programm Diadem die interessierenden Fahrverhaltensparameter für die relevanten Streckenabschnitte oder Fahrmanöver (z.B. Kurven oder Annäherungsvorgängen) identifiziert und die entsprechenden Daten beispielsweise in Form von Mittelwerten oder Standardabweichungen über mehrere Abschnitte oder Fahrmanöver hinweg aggregiert. Die resultierenden Fahrdatenkennwerte wurden dann in SPSS, Version 14 statistisch ausgewertet.

Aufgabenanforderungen

Die subjektiven Bewertungen der Aufgabenanforderungen durch die Probanden wurden anhand selbsterstellter Fragebögen erhoben, die Fragen des NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) sowie auf den Versuch abgestimmte selbst formulierte Fragen enthielten. Details zu den erhobenen Items finden sich bei der Beschreibung der einzelnen Studien. Die Fragebögen können bei der Autorin angefordert werden.

Die Beurteilung erfolgte in jeder Studie anhand einer 15-stufigen Kategorienunterteilungsskala nach Heller (Heller, 1982). Die Skala war in 5 Grobkategorien unterteilt (z.B. „sehr leicht“, „leicht“, „mittel“, „schwierig“, „sehr schwierig“). Innerhalb dieser Grobkategorien war dann zwischen 3 Feinkategorien zu wählen und einer von 3 Werten (insgesamt somit von 1 bis 15) anzukreuzen.

Physiologische Daten

Zur Messung der physiologischen Beanspruchung wurde die Herzrate in Form des Interbeat Interval (IBI) gemessen. Das IBI beinhaltet die Zeit zwischen 2 R-Zacken, die jeweils als höchste Zacke im EKG einen Herzschlag markieren (Piechulla, 2001). Für jeden Probanden wurden die IBI vor dem Versuch unter Ruhebedingungen sowie während des Versuchs bei Beanspruchung gemessen. Die Herzratenwerte unter Versuchsbedingungen wurden zunächst auf Ausreißer untersucht (angelehnt an Mulder, zitiert nach Piechulla, 2001). Ein hoher Ausreißer lag demnach vor, wenn ein Wert doppelt so hoch war wie der gleitende Mittelwert, der sich aus 31 Schlägen um diesen Wert herum errechnete. Ein niedriger Ausreißer lag vor bei Werten, die das 0.6-fache dieses gleitenden Mittelwertes betrugen oder weniger als 300 ms. Hohe Ausreißer wurden durch lineare Interpolation korrigiert. Niedrige Ausreißer wurden durch Addition mit einem Nachbarwert korrigiert, da sich in allen Fällen plausible Herzratenwerte und eine schlüssige Reihe an Zeitstempeln ergaben. Um einen Datenverlust

innerhalb der kurzen Betrachtungszeiträume zu verhindern, wurde daher von der von Mulder vorgeschlagenen Datenlöschung abgewichen. Nach der Ausreißerkorrektur wurden alle Herzratenwerte durch lineares Interpolieren an die Zeitstempel der Fahrdaten angeglichen. Danach wurde von jedem Wert der Versuchsbedingung die mittlere Herzrate der Ruhemessung subtrahiert, um das möglicherweise unterschiedliche Niveau der Versuchspersonen zu kompensieren, und über diese Differenzen gemittelt. Die resultierenden Differenz-IBI beschrieben demnach die mittlere Differenz zwischen der Herzrate im Versuch und der Herzrate in der Ruhephase vor dem Versuch. Eine negative Differenz deutete auf eine höhere Beanspruchung im Versuch gegenüber der Ruhephase hin, da die Zeit zwischen den R-Zacken sank, und eine positive Differenz deutete auf eine niedrigere Beanspruchung.

Akzeptanzbewertungen

Mit Hilfe von selbsterstellten Akzeptanzfragebögen wurden die Assistenzsysteme durch die Probanden bewertet. Vor Durchführung der ersten Studie (Studie 3) wurde nach einer Recherche der in der Literatur verfügbaren Akzeptanzmodelle ein Akzeptanzfragebogen konzipiert, der in Anlehnung an Schweibenz und Thissen (2003) die Gestaltung, Nützlichkeit und Funktionalität der Assistenzsysteme umfasste. Die Entwicklung und Durchführung dieser Akzeptanzbefragung ist ausführlich in Werneke (2006) dargestellt. Für die 3 folgenden Akzeptanzuntersuchungen wurden die Fragen an die jeweiligen Studien angepasst und jeweils die Daten der vorherigen Studie faktorenanalytisch ausgewertet, wodurch teilweise neue Bewertungskategorien gebildet wurden. Die Fragebögen können bei der Autorin angefordert werden.

Interviewleitfaden

Um neben den standardisierten Antwortmöglichkeiten eines Fragebogens nähere Informationen über die Bewältigung der Anforderungen durch die Probanden zu erhalten, wurden im jeweils zweiten Experiment zur Längs- und Querverführung zusätzlich Interviews durchgeführt. Anhand selbsterstellter Interviewleitfäden wurden die Probanden befragt, wie sie bei der Fahrt die notwendigen Informationen aufgenommen, Entscheidungen getroffen und Handlungen ausgeführt hatten, um die jeweilige Fahraufgabe sicher zu bewältigen. Außerdem wurden sie befragt, wie sie das jeweilige Assistenzsystem für diese Informationsverarbeitungsprozesse genutzt hatten. Die Interviewleitfäden wurden in Studie 2 und 4 eingesetzt, da diese die beiden zuletzt durchgeführten Studien waren. Die Leitfäden können bei der Autorin angefordert werden.

4 Längsführung bei erschwerter Handlungsplanung: Studie 1

In dieser Studie hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, einem zunächst gleichbleibend schnellen Führungsfahrzeug zu folgen und auf dessen wiederholte Bremsmanöver zu reagieren. Wie im Theorieteil beschrieben, stellt die Erwartbarkeit des Bremsereignisses eine Möglichkeit dar, die Aufgabenanforderungen im Bereich der Handlungsplanung zu variieren. Ist das Bremsereignis erwartbar, so kann der folgende Fahrer bereits vor Eintreten des Ereignisses den Situationsverlauf antizipieren und sein Verhalten frühzeitig planen und bei Eintritt des Ereignisses zügig reagieren. Tritt das Bremsereignis überraschend ein, so ist eine Antizipation nicht möglich und der Fahrer kann mit der Handlungsplanung erst mit Start des Bremsereignisses beginnen. Diese Variation der Aufgabenanforderungen stellte die erste unabhängige Variable der Studie dar. In der leichten Aufgabe war das Bremsmanöver aufgrund der Verkehrssituation für den Probanden antizipierbar. In der schwierigen Aufgabe trat das Bremsereignis überraschend für den nachfolgenden Probanden ein. Beide Anforderungsbedingungen unterschieden sich zusätzlich in der Bremsstärke, um in der schwierigen Bedingung ein deutliches Bremsverhalten des Probanden herbeizuführen.

Unterstützung erhielten die Probanden bei jeder Fahrt alternativ durch einen Info-, Warn- oder Brems-Assistenten oder sie fuhren ohne Assistenz. Der Info-Assistent sollte die Wahrnehmung der Distanz zum Führungsfahrzeug als wesentliche fahrrelevante Information unterstützen. Der Warn-Assistent gab den Fahrern eine Entscheidungshilfe zu bremsen und sollte damit die Handlungsplanung unterstützen. Daher war in vorliegender Studie der Warn-Assistent am besten mit der Anforderung der Fahraufgabe abgestimmt. Der Brems-Assistent griff bei akuter Kollisionsgefahr ein und sollte damit die Handlungsausführung unterstützen. Die Variation der Assistenzfunktionen stellte die zweite unabhängige Variable der Studie dar und bestand aufgrund der 3 Assistenzfunktionen sowie der Bedingung ohne Assistenz aus 4 Stufen.

Als Ziel der Studie sollte ermittelt werden, welche der dargebotenen Assistenzfunktionen die beste Unterstützung bot, wenn die Handlungsplanung im Rahmen der Längsführung für den Fahrer erschwert war. Die Ergebnisse sollten dadurch zur Klärung der Fragestellung beitragen, ob die mit den Aufgabenanforderungen abgestimmte Assistenzfunktion zur optimalen Unterstützung des Fahrers führte.

4.1 Methode

4.1.1 Aufgabe

Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, einem Fahrzeug auf einer Landstraße zu folgen und auf dessen Bremsmanöver zu reagieren. Das Führungsfahrzeug fuhr mit einer konstanten Geschwindigkeit von 100 km/h voraus. Bei diesem Folgefahren bestand die Aufgabe darin, einen sicheren Abstand zum Führungsfahrzeug zu halten. Das Folgefahren wurde von 10 Bremsmanövern des Führungsfahrzeugs unterbrochen. In diesen Verzögerungsphasen mussten die Probanden auf das Bremsverhalten des Fahrzeugs reagieren und die eigene Geschwindigkeit anpassen. Die Fahraufgabe bestand somit in jeder Versuchsbedingung aus 10 Sequenzen mit Folgefahrt und anschließender Verzögerungsphase. Anhand des Bremsverhaltens des Führungsfahrzeugs wurden die Aufgabenanforderungen manipuliert. In der leichten Bedingung war das Bremsen für die Versuchspersonen antizipierbar und erfolgte mit einer Verzögerung von 2 m/s^2 . In der schwierigen Aufgabenbedingung bremste das Führungsfahrzeug unerwartet und mit einer Verzögerung von 3 m/s^2 . Die Bremsdauer betrug jeweils etwa 3.5 Sekunden.

In der leichten Bedingung konnten die Versuchspersonen den bevorstehenden Bremsvorgang aufgrund der Verkehrssituation antizipieren. Es wurden zwei verschiedene Situationen dargeboten. In der ersten Streckenhälfte gab es wiederholte Geschwindigkeitsbeschränkungen, die eine Geschwindigkeitsreduktion des Führungsfahrzeugs auf 70 km/h erwarten ließen. Im zweiten Streckenabschnitt wurden Kreuzungen durchquert, an denen weithin sichtbar ein drittes Fahrzeug beim Einbiegen auf die Straße die Vorfahrt erzwang und damit ein Bremsmanöver des Führungsfahrzeugs erwarten ließen. Es gab jeweils 5 Geschwindigkeitsbeschränkungen und Kreuzungen. Abbildung 4.1 (links) zeigt die leichte Aufgabe mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung. In der leichten Aufgabe wurden die Probanden instruiert, einen für sie angenehmen Abstand zum Führungsfahrzeug zu halten.

In der schwierigen Bedingung erfolgte das Bremsen des Führungsfahrzeugs unerwartet für die Versuchspersonen, da es keine Hinweise auf das bevorstehende Bremsereignis gab. Die Bremsmanöver erfolgten in unregelmäßigen Zeitabständen, damit die Versuchspersonen keine Erwartung über das nächste Manöver bilden konnten. Bremsmanöver wurden nur ausgelöst, wenn der Abstand zwischen den Fahrzeugen höchstens 50 m betrug damit die Probanden ihr Fahrverhalten an das bremsende Führungsfahrzeug anpassen mussten. Abbildung 4.1 (rechts) zeigt die Strecke der schwierigen Aufgabe. In der schwierigen Aufgabe wurden die Versuchspersonen instruiert, das führende Fahrzeug nicht zu verlieren, um eine eigenständige Reduzierung der Aufgabenanforderungen durch die Versuchspersonen zu verhindern. Nach Fahrtantritt scherte ein Fahrzeug zwischen dem Führungsfahrzeug und den Versuchspersonen ein, um ein kürzeres Abstandsverhalten zu provozieren und es gab einen Drängler. Die Versuchspersonen sollten außerdem Geschwindigkeitsbeschränkungen einhalten, durften nicht überholen und sollten stets sicher fahren und die Verkehrsregeln beachten.



Abb. 4.1: Variation der Aufgabenanforderungen durch unterschiedlich vorhersehbares Bremsverhalten des Führungsfahrzeugs und unterschiedliche Bremsstärke. In der leichten Aufgabe (links) konnte das Bremsereignis aufgrund von Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Kreuzungen antizipiert werden. In der schwierigen Aufgabe (rechts) gab es keine streckenbezogenen Hinweise auf das Bremsereignis.

4.1.2 Assistenzsysteme

Mit Ausnahme der unassistierten Fahrt wurden die Probanden bei jeder Fahrt durch eines der 3 Assistenzsysteme unterstützt. Die Assistenzsysteme unterschieden sich in ihrer Funktion, indem sie den Fahrer entweder durch Information, Warnung oder Eingriff unterstützten. Die Unterstützung erfolgte jeweils in mehreren Stufen, je nachdem wie kritisch die Situation geworden war. Die zeitliche Gestaltung dieser Stufen orientierte sich an Werten, die anhand der Literaturrecherche gewonnen wurden, und wurde in Vorversuchen an das Fahren in der

Laborumgebung angepasst. Neben der Funktion unterschieden sich die Assistenzsysteme außerdem in ihrem Unterstützungsbeginn, der Unterstützungsdauer und den genutzten sensorischen Kanälen.

Info-Assistent

Jede Fahrhandlung beginnt mit der Wahrnehmung der Verkehrssituation. Der Info-Assistent sollte die Wahrnehmung des Fahrers unterstützen, indem er auf fahrrelevante Reize aufmerksam machte. Er lieferte dem Fahrer eine Information darüber, worauf in der jeweiligen Aufgabe besonders zu achten war. Dadurch sollte der Fokus des Fahrers auf die wesentliche Information gelenkt und die Wahrnehmung erleichtert werden. Passend zur Fahraufgabe der Längsführung informierte der Info-Assistent über den Abstand zum Führungsfahrzeug. Die sich aus dieser Information ergebenden Entscheidungen und Handlungen musste der Fahrer jedoch selbst treffen.

Die Information erfolgte über ein Head-up Display, das vor dem Fahrzeug auf der Fahrspur erschien und war an den Sekundenabstand gekoppelt. Der Sekundenabstand ist definiert als die Zeit, die ein Fahrzeug zum Erreichen des Punktes benötigt, wo sich gerade noch das Führungsfahrzeug befunden hatte (Vogel, 2003) und ist identisch mit Time Headway (kurz THW). In Abhängigkeit vom Sekundenabstand wurde auf dem Head-up Display ein symbolisches Auto in 3 unterschiedlichen Größen angezeigt. Bei einem THW von weniger als 2.5 s wurde ein kleines, bei einem THW von weniger als 1.5 s ein mittelgroßes und bei einem THW von weniger als 0.8 s ein großes Symbol dargestellt. Jedes Symbol wurde so lange angezeigt bis der dazugehörige Grenzwert wieder überschritten wurde. Wie Abbildung 4.2 zeigt, vergrößerten sich die Auto-Symbole also wenn sich der Abstand zum Führungsfahrzeug verringerte. Je größer das reale Fahrzeug erschien, desto größer war auch das Symbol. Auch wenn der Assistent eine ähnliche Information lieferte wie die Realität, ging sein Informationsgehalt darüber hinaus. Er lenkte die Aufmerksamkeit auf die für die Längsführung relevante Größe, nämlich den Abstand zum Führungsfahrzeug. Außerdem klassifizierte er diesen Abstand in 3 Stufen, die dem Fahrer die Einordnung erleichterten.

Zusammengefasst lässt sich der Info-Assistent also charakterisieren als ein visueller Assistent, dessen Funktion darin bestand, die Informationsaufnahme des Fahrers hinsichtlich des Abstandes zum Führungsfahrzeug zu unterstützen. Die Unterstützung begann frühzeitig, damit der Fahrer genug Zeit zum Entscheiden und Handeln hatte. Die Unterstützung erfolgte außerdem kontinuierlich sobald ein Sekundenabstand von 2.5 s unterschritten wurde, da dann eines der 3 Symbole angezeigt wurde.



Abb. 4.2: Info-Assistent bei leichter Fahraufgabe. In Abhängigkeit vom Sekundenabstand (THW) werden 3 unterschiedlich große Autosymbole präsentiert.

Warn-Assistent

Der Warn-Assistent setzte auf einer höheren Stufe der Informationsverarbeitung an als der Info-Assistent, da er die vorhandenen Informationen interpretierte und diese Interpretation dem Fahrer mitteilte. Der Fahrer sollte dadurch in seiner Entscheidung zum Handeln unterstützt werden. Passend zur Aufgabe, einem Fahrzeug zu folgen, warnte der Warn-Assistent vor einer Kollision mit dem Führungsfahrzeug. Die Warnung war an die Time-To-Collision (kurz: TTC) gekoppelt. Die TTC ist der Quotient aus dem Abstand zweier Fahrzeuge und ihrer Geschwindigkeitsdifferenz und beschreibt daher die verbleibende Zeit bis zu einer möglichen Kollision. Während der Fahrer beim Info-Assistenten selbst die Bedeutung des Abstandes für sein Handeln interpretieren musste, lieferte der Warn-Assistent mit der TTC bereits eine Bewertung der Situation. Der Warn-Assistent zeigte an wie dringend gehandelt werden musste, um eine Kollision zu vermeiden und sollte damit die Entscheidung des Fahrers unterstützen. Der Warn-Assistent unterstützte damit auf einer höheren Automatisierungsebene als der Info-Assistent. Die Handlungsausführung blieb jedoch weiterhin beim Fahrer.

Im Head-up Display des Warn-Assistenten wurden Auto-Symbole in 3 verschiedenen Größen angezeigt. Je kürzer die Zeit bis zu einer möglichen Kollision war, desto größer war das Auto-Symbol. Bei einer TTC unter 9.5 s wurde das kleine Symbol, bei einer TTC unter 6.5 s das mittlere und bei einer TTC unter 4 s wurde das große Symbol dargestellt. Im letzten Fall war das Symbol rot und es erfolgte ein Warnton. In Abbildung 4.3 sind die Anzeigen des Warn-Assistenten im Head-up Display dargestellt. Ein Symbol wurde solange angezeigt, bis der Grenzwert wieder überschritten wurde. Vorversuche zeigten, dass diese Auslegung erst spät reagierte, wenn das Führungsfahrzeug verzögerte. Deshalb wurde für diese Fälle die Warnung modifiziert, ein vorausschauender TTC-Wert berechnet und als Kriterium für die Anzeige verwendet. Dieser errechnete sich anhand der Geschwindigkeiten und der Distanz zwischen beiden Fahrzeugen nach 0.5 s und stellte somit zum aktuellen Zeitpunkt den in 0.5 s zu erwartenden TTC-Wert dar. Der vorausschauende TTC-Wert verringerte sich früher als der herkömmliche und auf niedrigere Werte. Dieses führte zu einem zügigeren Erreichen höherer Warnstufen.

Zusammengefasst lässt sich der Warn-Assistent charakterisieren als visueller und akustischer Assistent, dessen Funktion darin bestand, die Bremsentscheidung des Fahrers bei Kollisionsgefahr zu unterstützen. Der Unterstützung begann später als beim Info-Assistenten, da nur in gefährlichen Situationen gewarnt werden sollte. Die Unterstützungsdauer war im Unterschied zum Info-Assistenten nicht kontinuierlich, da eine Kollisionsgefahr nur bestand wenn das eigene Fahrzeug schneller war als das Führungsfahrzeug. Sobald der Proband entsprechend bremste, erlosch die Warnung.



Abb. 4.3: Warn-Assistent bei leichter Fahraufgabe. In Abhängigkeit von der Zeit bis zu einer Kollision (TTC) werden 3 unterschiedlich große Autosymbole präsentiert.

Brems-Assistent

Der Brems-Assistent repräsentierte die höchste Automatisierungsebene. Er griff bei akuter Kollisionsgefahr aktiv ein und unterstützte so die Handlungsausführung bzw. übernahm diese in Krisensituationen. Er war wie der Warn-Assistent an die Time-To-Collision gekoppelt und unterstützte zweistufig.

In der ersten Stufe erfolgte ein leichter Bremsruck bei einer TTC von weniger als 6 s, der den Fahrer aktivieren sollte. Dieser Wert wurde in Vorversuchen ermittelt und erwies sich als rechtzeitig genug, dass der Fahrer selbst noch handeln und eine Kollision vermeiden konnte. Außerdem erfolgte er aber auch spät genug, so dass er mit der Gefahrensituation in Verbindung gebracht und nicht als Fehlalarm wahrgenommen wurde. Der Bremsruck wurde für jedes Annäherungsmanöver nur einmal ausgelöst und dauerte 0.6 s. Die Bremsruckdauer wurde in Vorversuchen als lang genug bewertet, um wahrgenommen zu werden, und gleichzeitig als kurz genug um kein unangenehmes Fahrgefühl zu verursachen.

Die zweite Stufe des Assistenten wurde aktiviert, wenn sich die TTC weiter bis auf einen Wert von 4 s reduzierte oder sich der Fahrer bis auf 4 m an das Führungsfahrzeug angenähert hatte. Hier bremste der Brems-Assistent das Fahrzeug so stark ab, dass eine Kollision verhindert wurde. Der Brems-Assistent wurde nur dann aktiv, wenn der Fahrer nicht oder nicht ausreichend stark bremste. Falls er aktiv war, war das Gaspedal deaktiviert und der Fahrer konnte das Fahrzeug nicht beschleunigen. Für den Fall, dass das Führungsfahrzeug verzögerte, wurde der auf dieselbe Weise wie der Warn-Assistent modifizierte Brems-Assistent aktiviert. Es wurde dann der TTC-Wert errechnet, der in 0.5 Sekunden zu erwarten war und als Grenzwert für den Eingriff verwendet.

Zusammengefasst lässt sich der Brems-Assistenten charakterisieren als haptischer Assistent mit der Funktion, im Notfall durch einen Handlungseingriff eine Kollision des Fahrzeugs mit dem Führungsfahrzeug zu verhindern. Es gab keine visuelle oder auditive Rückmeldung über den Eingriff an den Fahrer. Die Unterstützung begann später als bei den anderen Assistenten, da die Fahraufgabe hauptsächlich beim Fahrer bleiben sollte und der Brems-Assistent nur im Notfall eingreifen sollte. Die Unterstützungsdauer bestand wie beim Warn-Assistenten nur für den Zeitraum, in dem das eigene Fahrzeug schneller war als das Führungsfahrzeug und somit eine Kollisionsgefahr bestand.

4.1.3 Versuchspersonen

Am Versuch nahmen 16 Personen teil (jeweils 8 Männer und Frauen). Das Alter lag zwischen 24 und 39 Jahren (mittleres Alter: 30.1 Jahre, Standardabweichung: 4.8 Jahre). Die Probanden wurden per Zufall aus dem Testfahrerpool des Institutes für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung des DLR ausgewählt, wobei nur Personen zwischen 24 und 50 Jahren sowie mindestens 5 Jahren Führerscheinbesitz und Fahrpraxis berücksichtigt wurden. Die Teilnahme am Versuch erfolgte freiwillig und wurde mit 8 Euro pro Versuchsstunde vergütet. Vor der Teilnahme an den Versuchsfahrten hatten alle Probanden ein vom Institut entwickeltes Testfahrertraining im Virtual Reality Labor absolviert. Das Testfahrertraining umfasste Fahrten auf der Landstraße, in der Stadt und in Ortschaften. Es wurden gängige Fahrmanöver wie z.B. Anfahren und Bremsen trainiert. Das Training dauerte je nach Versuchsperson zwischen 2 Stunden 15 Minuten und 3 Stunden 30 Minuten, wobei die längeren Trainingszeiten vorwiegend aus technischen Problemen mit der Simulationssoftware resultierten.

4.1.4 Versuchsplan und -ablauf

Der Versuch wurde im dynamischen Fahrsimulator des DLR durchgeführt, der in Kapitel 3.3 beschrieben wurde. Es gab 8 Versuchsbedingungen. Wie oben bereits dargestellt, war die unabhängige Variable Aufgabenanforderung zweifach gestuft mit den Ausprägungen antizipierbare und schwache Verzögerung (leichte Aufgabe) bzw. unerwartete und starke Verzögerung (schwierige Aufgabe). Die unabhängige Variable Assistenzfunktion war vierfach gestuft mit den Ausprägungen Information, Warnung, Eingriff oder unassistiertes Fahren. Es handelte sich um einen vollständig gekreuzten Versuchsplan mit Messwiederholung, alle 16 Versuchspersonen haben also alle 8 Versuchsbedingungen durchlaufen. Um Zeiteffekte zu kontrollieren, wurde ein Cross-Over-Plan verwendet, bei dem eine Hälfte der Versuchspersonen mit der leichten Aufgabe begann, die andere Hälfte mit der schwierigen. Zur Kontrolle von Positionseffekten wurde innerhalb einer Anforderungsbedingung die Reihenfolge der Assistenzbedingungen nach den Prinzipien des Lateinischen Quadrates ausbalanciert. Die Versuchsdurchführung war je Versuchsperson auf zwei Tage verteilt, getrennt nach leichter und schwieriger Aufgabe. Die Versuchsdurchführung dauerte pro Versuchstag zwischen 2 Stunden 57 Minuten und 4 Stunden 40 Minuten. Der Versuchsablauf ist in Tabelle 4.1 dargestellt.

Tab. 4.1: Ablauf eines Versuchstages.

Zeit ↓	Gesamtinstruktion	
	Baselinemessung mit dem Physio-System	
	Trainingsstrecke	
	Simulator- fahrt, 4-mal, (einmal je As- sistenzfunktion)	Lesen der Instruktion
		Übungsfahrt
		Versuchsfahrt
		Ausfüllen von Akzeptanzfragebogen und Schwierigkeitsfragebogen
	Vergleichsfragebogen der Akzeptanz	

4.1.5 Strecke

Die Versuchsstrecke bestand in der leichten Aufgabe aus einer Geraden von 800 m Länge zum Einfahren. Nach einer Kurve (Radius 700 m, Länge 200 m) begann die Datenaufzeichnung. Auf der sich anschließenden Geraden (4350 m Länge) befanden sich die ersten 5 Abschnitte, in denen die Bremsvorgänge des Führungsfahrzeugs ausgelöst wurden. In diesen wurde die Geschwindigkeit auf 70 km/h beschränkt und nach 300 m bis 550 m wieder aufgehoben. Nach zwei weiteren Kurven (Radius 450 m bzw. 700 m, jeweils 200 m lang) folgte wieder eine Gerade (5000 m Länge) mit 5 Kreuzungen, auf der die restlichen Bremsmanöver stattfanden. Abbildung 4.4 zeigt eine Aufsicht der Strecke in der leichten Aufgabe. In der schwierigen Aufgabenbedingung war das Streckenprofil identisch mit dem der leichten Strecke, nur dass es dort keine Geschwindigkeitsbeschränkungen und Kreuzungen gab und daher keine streckenbezogenen Hinweise auf das Bremsereignis.

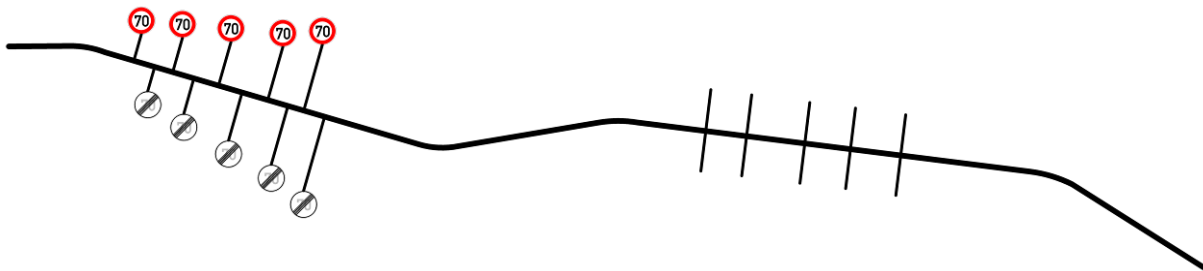


Abb. 4.4: Streckenprofil in der leichten Aufgabe. Die Fahrt begann links, im ersten Streckenabschnitt folgten Geschwindigkeitsbeschränkungen, im zweiten Streckenabschnitt folgten Kreuzungen.

4.1.6 Fragebogen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen

Mit einem selbst erstellten Fragebogen wurde erfasst, wie die Aufgabenanforderungen von den Versuchspersonen bewertet wurden. Die Fragebögen wurden direkt nach jeder Fahrt ausgefüllt. Es wurden verschiedene Aspekte der Aufgabenanforderungen erfragt. Der Fragebogen enthielt eine Gesamtschwierigkeitseinschätzung und eine Bewertung der Aktivitätshäufigkeit. Die restlichen Fragen waren angelehnt an den NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988). Sie bewerteten die eigene Leistung und die mentalen, zeitlichen und körperlichen Anforderungen.

4.1.7 Fragebogen zur Akzeptanzbewertung

Mit einem selbst erstellten Fragebogen wurde erfasst, wie die Versuchspersonen die Assistenzsysteme in Bezug auf Funktionalität, Gestaltung und Nützlichkeit bewerteten und wie ihre Einstellung gegenüber den Systemen war. Die Beurteilung erfolgte anhand der bereits beschriebenen 15-stufigen Kategorienunterteilungsskala. Die Fragebögen wurden direkt nach der Fahrt mit dem entsprechenden Assistenzsystem ausgefüllt.

4.2 Ergebnisse

Zur Untersuchung der Wirkung der Assistenzsysteme wurden subjektive und objektive Daten erhoben, die die Wirkung der Systeme aus verschiedenen Perspektiven betrachten und damit ein umfassendes Bild der Wirkung der Assistenzsysteme vermitteln sollen. Zunächst wird anhand der Bewertungen der Aufgabenanforderungen dargestellt, ob eines der Systeme aus Sicht der Probanden die Anforderungen der Fahraufgabe reduzieren kann. Dieser subjektiven Einschätzung folgt die Beschreibung der Fahrdaten. Diese zeigen, ob die Assistenten objektiv zu unterschiedlichem Fahrverhalten führten und ob es Systemmerkmale gab, die unterstützend wirkten. Die Fahrdaten bildeten den Schwerpunkt der Untersuchung. Neben den Auswirkungen der Assistenten auf die Aufgabenanforderungen und das Fahrverhalten wird als drittes ihr Einfluss auf die Beanspruchung der Fahrer anhand physiologischer Messdaten beschrieben. Die vierte Perspektive betrachtet die Akzeptanz der Systeme durch die Fahrer, da die Systemnutzung deren Akzeptanz durch den Fahrer voraussetzt.

Vor der Darstellung der Ergebnisse wird jedoch zunächst beschrieben, ob die experimentelle Variation der beiden unabhängigen Variablen Aufgabenanforderungen und Assistenzfunktion gelungen war.

Aufgrund der Neuheit der Fragestellung sollte die Studie vor allem neue Hinweise über die Wirkungsweise der verschiedenen Assistenzstrategien gewinnen. Es scheint daher weniger problematisch, Hypothesen fälschlich anzunehmen als geringe Effekte zu ignorieren. Daher werden neben signifikanten Daten auf dem 5 % - Niveau auch Daten auf dem 15 % - Niveau berichtet, die im Text als „tendenziell signifikant“ bezeichnet werden. Die Ergebnisse sind daher vor allem als Hinweise auf die Wirkungsweise der Assistenten zu verstehen und nicht als abgesicherte Befunde. Um die Wirkungsweise der Assistenzstrategien umfassend zu verstehen, empfahl es sich außerdem, zahlreiche Variablen zu erheben. Multiples Testen führt jedoch zur Kumulation der statistischen Fehlerwahrscheinlichkeiten, die üblicherweise durch Adjustierung der Fehlerwahrscheinlichkeiten korrigiert wird. Im Interesse der Berücksichtigung auch kleiner Effekte wurde hier jedoch auf diese Adjustierung verzichtet.

4.2.1 Manipulationskontrolle

Zur Untersuchung der Fragestellung wurden als unabhängige Variablen die Aufgabenanforderungen und die Assistenzfunktion variiert. Mit der Manipulationskontrolle sollte der Erfolg dieser Variationen überprüft werden. Eine erfolgreiche Variation der Aufgabenanforderungen setzte voraus, dass die als leicht und schwierig konzipierten Versuchsbedingungen auch von den Probanden als leicht und schwierig bewertet wurden. Eine erfolgreiche Variation der Assistenzfunktion setzte voraus, dass die Assistenten im Experiment entsprechend ihrer Konzeption wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben funktionierten, also beispielsweise bei kritischen Situationen höhere Stufen anzeigten.

Bewertung der Aufgabenanforderungen in den unassistierten Fahrten

Die in den Fragebögen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen vorgenommenen Bewertungen der Aufgabenanforderungen zeigten, welche Aspekte der Fahraufgabe fordernd für die Versuchspersonen waren. Um zu überprüfen, ob die Probanden die antizipierbaren Bremsmanöver leichter fanden als die unerwarteten, wurden ihre Bewertungen der Aufgabenanforderungen in den unassistierten Fahrten verglichen. Der Inhalt des Fragebogens ist in Kapitel 4.1.6 beschrieben. Die Antworten wurden vor der Auswertung auf Antwortplausibilität und Ausreißer geprüft. Unplausibel war zum Beispiel ein stark von den anderen Antworten abweichendes Urteil bei einer Frage, deren Skala als eine von wenigen umgekehrt gepolt war. In den Daten zeigte sich kein unplausibles Antwortverhalten. Bei den Ausreißern und Extremwerten handelte es sich um wenige Werte unterschiedlicher Versuchspersonen, bei denen nicht ein fehlerhaftes Antwortverhalten zugrunde liegen muss. Es schienen extreme, aber plausible Antworten zu sein. Die Originalwerte wurden daher in die Auswertung übernommen. Die Auswertung erfolgte durch einen t-Test für abhängige Stichproben.

Die Ergebnisse zeigten, dass die schwierige Aufgabe in ihren zeitlichen und tendenziell in ihren körperlichen Anforderungen als schwieriger bewertet wurde als die leichte. Aus ihrer Sicht mussten die Versuchspersonen bei der schwierigen Aufgabe schneller reagieren, um den Abstand zu halten ($t(8) = -1.22$, $p < .05$) und tendenziell mehr körperlich tun ($t(8) = -1.44$, $p = .069$). Abbildung 4.5 zeigt die Unterschiede in den zeitlichen und körperlichen Anforderungen. Die zeitlichen Anforderungen wurden als mittel bis schwierig bewertet und lagen höher als die körperlichen Anforderungen. Die Versuchspersonen nahmen keine Unterschiede zwischen leichter und schwieriger Aufgabe wahr hinsichtlich der mentalen Anforderungen, der notwendigen Aktivitätshäufigkeit, der erbrachten Leistung und im Gesamturteil.

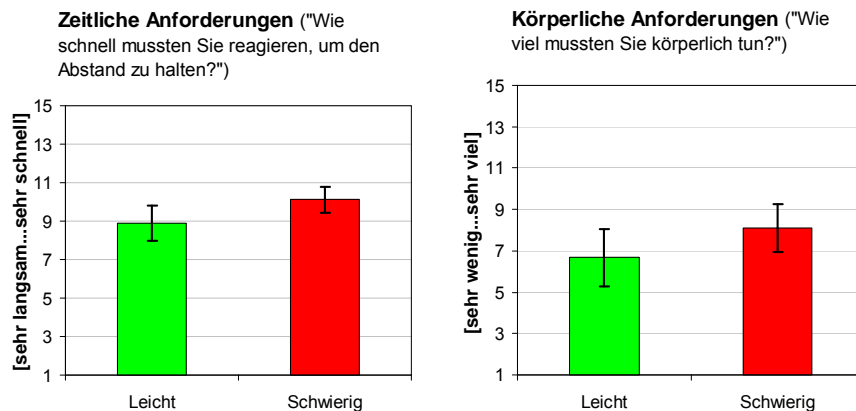


Abb. 4.5: Beurteilung der Schwierigkeit der unassistenten Fahrten bei antizipierbarem bzw. unerwartetem Bremsereignis (Manipulation Check).

Aktivität der Assistenzsysteme

Eine Voraussetzung für die unterstützende Wirkung der Assistenzsysteme bestand darin, dass sie entsprechend ihrer Konzeption funktionierten. Im Rahmen der Manipulationskontrolle wurde daher die Aktivität der Assistenzsysteme im Versuch überprüft. Info- und Warn-Assistent sollten je nach Situation 3 verschiedene Symbolgrößen anzeigen und der Brems-Assistent sollte einen Bremsruck bzw. einen Bremsengriff vornehmen. Abbildung 4.6 zeigt, wie lange jede Assistenzstufe bei jedem Assistenten in Prozent der Fahrzeit aktiv war (für die leichte und schwierige Aufgabe zusammen).

Beim Folgefahren waren der Warn- und Brems-Assistent kaum aktiv, da diese erst tätig wurden, wenn der Proband eine höhere Geschwindigkeit als das Führungsfahrzeug erreicht hatte. Der Info-Assistent war in dieser Phase hingegen in allen Assistenzstufen aktiv, da er unabhängig von der Relativgeschwindigkeit über die jeweiligen Sekundenabstände informierte. Während der Verzögerungsphase waren alle Assistenten aktiv. Die Aktivität zeigte sich in allen der 2 bzw. 3 Assistenzstufen, was für eine volle Funktionsfähigkeit der Assistenten in allen Stufen spricht. In der Verzögerungsphase waren die Assistenten außerdem in den höheren Assistenzstufen länger aktiv als in den niedrigeren (Info-Assistent: $F(2,16) = 8.6$, $p < .05$; Warn-Assistent: $F(2,16) = 3.6$, $p = .052$; Eingriff: $F(1,8) = 10.5$, $p < .05$). Dieses weist darauf hin, dass bei Eintritt des kritischen Bremsereignisses – wie konzipiert – die höchste Assistenzstufe erreicht wurde und die Assistenzstufen an geeignete Grenzwerte gekoppelt waren. Im Vergleich zu den beiden anderen Assistenten war der Info-Assistent insgesamt über alle Stufen hinweg länger aktiv ($F(2,16) = 210.9$, $p < .001$). Hier zeigen sich die konzeptuellen Unterschiede der Assistenten bezüglich des Unterstützungsbeginns und der –dauer. Der Info-Assistent wurde früher aktiv, um dem Fahrer noch ausreichend Zeit zum Entscheiden und Handeln zu lassen. Außerdem informierte er kontinuierlich über den Abstand. Warn- und Brems-Assistent waren hingegen nur aktiv, wenn die eigene Geschwindigkeit über der des Führungsfahrzeugs lag. Der Einfluss der schwierigen Aufgabe zeigte sich bei der Anzahl der Eingriffe. Die schwierigen Aufgabenanforderungen führten zu tendenziell häufigeren Eingriffen im Vergleich zur leichten Aufgabe ($t(8) = -1.65$, $p < .15$). Bei Info- und Warn-Assistent wären bei der schwierigen Aufgabe längere Anzeigedauern der hohen Anzeigestufen im Vergleich zur leichten Aufgabe plausibel gewesen. Aufgrund hoher Varianzen traten jedoch keine signifikanten Interaktionen auf, vermutlich war die Fahrzeit mit den einzelnen Anzeigestufen zu unterschiedlich zwischen den einzelnen Verzögerungsmanövern.

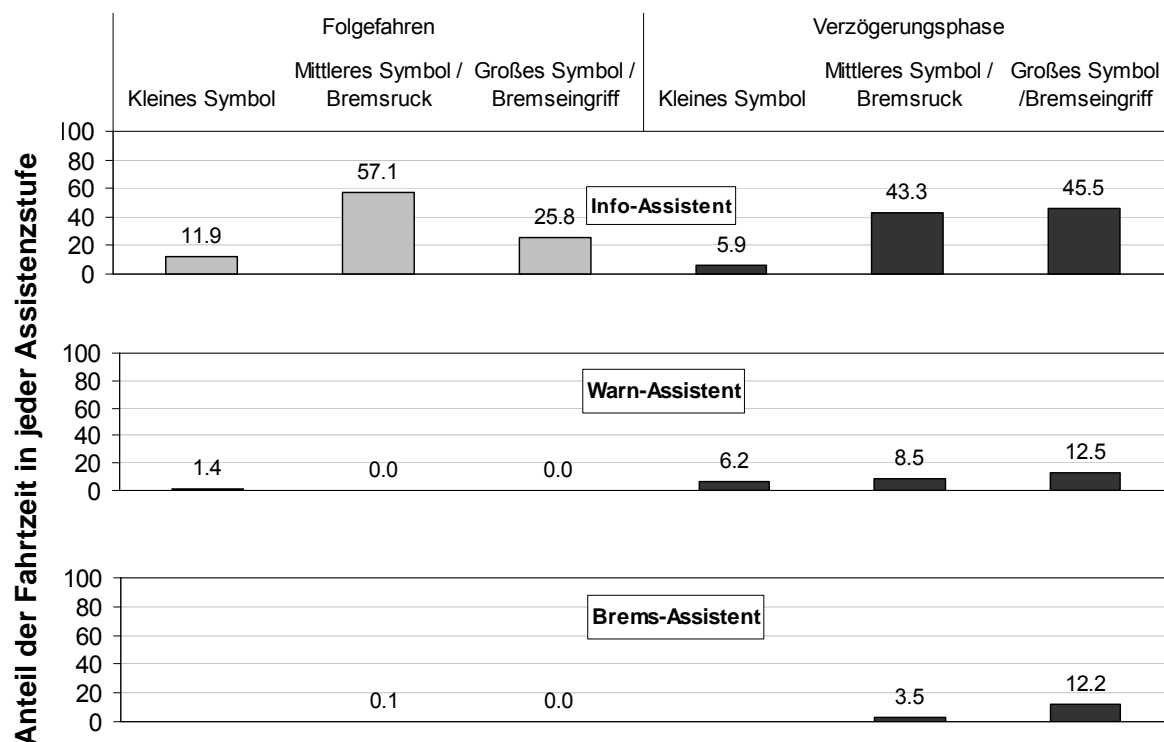


Abb. 4.6: Aktivität der 3 Assistenten getrennt für Folgefahren und Verzögerungsphase. Dargestellt ist, zu wie viel Prozent der Fahrtzeit jeder Assistent in jeder Assistenzstufe aktiv war. Info- und Warn-Assistent waren aktiv durch Anzeige eines kleinen, mittleren oder großen Symbols. Der Brems-Assistent war in Form von Bremsruck oder Bremsengriff aktiv.

Zusammengefasst sprechen die Ergebnisse für eine gelungene Variation der unabhängigen Variablen. Zum einen empfanden die Versuchspersonen die unerwarteten Bremsmanöver als fordernder als die antizipierbaren Bremsmanöver. Sie mussten vor allem unter mehr Zeitdruck und mit mehr körperlicher Aktivität ausgeführt werden. Somit wurden die unerwartet und stark bremsenden Führungsfahrzeuge von den Versuchspersonen subjektiv als fordernder wahrgenommen als die antizipierbar und schwächer bremsenden Fahrzeuge. Zum anderen zeigte die Auswertung der Assistenzaktivität, dass die Unterstützungsdauer der Assistenten zunahm, wenn die Situation in den Verzögerungsphasen kritischer wurde und dass der Info-Assistent mit seiner kontinuierlichen Unterstützung länger informierte als die beiden anderen Assistenten.

4.2.2 Bewertung der Aufgabenanforderungen in den Versuchsbedingungen

Der Vergleich der Bewertungen der Aufgabenanforderungen aus allen 8 Versuchsbedingungen sollte zeigen, in welchen Aufgabenaspekten die Assistenten möglicherweise eine Entlastung gegenüber der unassistenten Fahrt boten. Dazu wurden die in Kapitel 4.1.6 beschriebenen Fragebögen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen für alle Versuchsbedingungen ausgewertet. Die Antworten wurden vor der Auswertung auf Antwortplausibilität und Ausreißer geprüft. Wie in der Manipulationskontrolle gab es keine Hinweise auf unplausibles Antwortverhalten oder darauf, dass den Ausreißern und Extremwerten ein fehlerhaftes Antwortverhalten zugrunde lag. Die Originalwerte wurden daher in die Auswertung übernommen. Die Bewertungen wurden in einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung unter Berücksichtigung der Reihenfolge als Zwischensubjektfaktor ausgewertet. Es gab 2 signifikante Haupteffekte der Assistenzfunktionen, die sich in den zeitlichen Anforderungen

($F(3,21) = 3.9$, $p < .05$) und der Aktivitätshäufigkeit ($F(3,21) = 3.7$, $p < .05$) unterschieden. Mit dem Brems-Assistenten musste nicht so schnell reagiert werden wie mit dem Warn-Assistenten und tendenziell weniger schnell als bei manueller Fahrt. Mit dem Info-Assistenten musste weniger schnell reagiert werden im Vergleich zur manuellen Fahrt. Der Bremsassistent erforderte außerdem weniger Aktivität als der Warn-Assistent und tendenziell weniger als der Info-Assistent und die manuelle Fahrt. Dieses galt in der leichten und der schwierigen Aufgabe gleichermaßen. Tendenzielle Unterschiede gab es bei den mentalen Anforderungen ($F(3,21) = 3.2$, $p = .09$) und den körperlichen Anforderungen ($F(3,21) = 2.22$, $p = .155$), jeweils mit der geringsten Beanspruchung beim Brems-Assistenten. Zusammenfassend konnten also Info- und Warn-Assistent kaum die Beanspruchung gegenüber der manuellen Fahrt reduzieren. Der Brems-Assistent entlastete jedoch gegenüber der manuellen Fahrt und teilweise auch gegenüber den anderen Assistenten im Hinblick auf die zeitlichen Anforderungen und die Aktivitätshäufigkeit (siehe Abbildung 4.7).

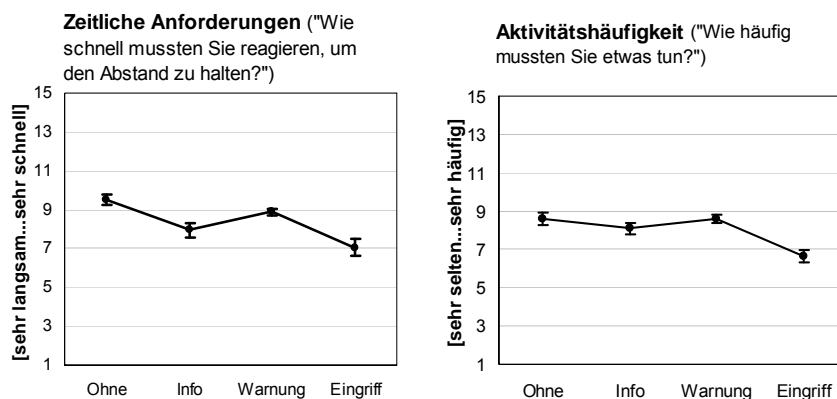


Abb. 4.7: Unterschiede in den zeitlichen Anforderungen und der Aktivitätsmenge zwischen den Assistenten.

4.2.3 Fahrdaten

In diesem Abschnitt wird das Fahrverhalten mit den verschiedenen Assistenten bzw. ohne Assistenz beschrieben. Anhand der objektiven Fahrdaten ist erkennbar, wie die Versuchspersonen mit den verschiedenen Assistenzkonzepten fuhren und welche Systemmerkmale unterstützend oder weniger unterstützend bei der Bewältigung der Fahraufgabe wirkten. Wie bereits beschrieben bestand die Fahraufgabe darin, einem Fahrzeug zu folgen und auf dessen wiederholte Bremsmanöver zu reagieren. Diese Bremsmanöver waren in der leichten Aufgabe antizipierbar, in der schwierigen Aufgabe nicht. Beim Folgefahren musste vor allem auf einen sicheren Abstand geachtet werden, in der Verzögerungsphase war vor allem die eigene Geschwindigkeit anzupassen. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Fahraufgaben wurden die Fahrdaten getrennt für die Phase des Folgefahrens und die sich anschließende Verzögerungsphase betrachtet. Für das Folgefahren wurden die letzten 8 Sekunden vor dem Beginn des Abbremsens des Führungsfahrzeugs herangezogen. Dieses war der Zeitraum, der mindestens zwischen 2 Bremsmanövern lag und in dem das Beschleunigen nach dem letzten Bremsmanöver bereits abgeschlossen war. Die Verzögerungsphase begann mit dem Abbremsen des Führungsfahrzeugs und dauerte an, bis das Führungsfahrzeug wieder seine ursprüngliche Geschwindigkeit erreicht hatte. Die Differenzierung dieser verschiedenen Pha-

sen gibt Aufschluss darüber, welches Assistenzsystem für die jeweilige Fahraufgabe – also konstantes Abstandhalten oder plötzliches Anpassen der Geschwindigkeit – hilfreich war. Die aufgezeichneten Fahrdaten wurden in Hinsicht auf 3 Kriterien betrachtet. Zum einen sollte die Auswertung auf einem Fahrverhalten beruhen, in dem wie instruiert nicht zu große Abstände zum Führungsfahrzeug gehalten wurden, damit die Assistenzsysteme in allen Stufen aktiv werden konnten und alle Probanden gleiche Erfahrungen mit den Systemen sammeln konnten. Die zweite Anforderung an die Fahrdaten bestand darin, dass der Auswertung ein geübter und stabiler Umgang mit den Systemen zugrunde lag. Daher war es wichtig, in die Datenauswertung nur die Daten einzubeziehen, in denen die Probanden ein konstantes Verhalten beim Nutzen der Systeme zeigten. Der Meterabstand zum Führungsfahrzeug zum Bremsbeginn bot sich als Variable zur Beschreibung eines Lernverlaufs an. Dieser Abstand konnte vom Probanden so gewählt werden, dass er die folgende Verzögerungsphase gut bewältigen konnte und war daher geeignet, das Verhalten an die Aufgabenanforderungen anzupassen. Das Erreichen eines gleichbleibenden Abstandes deutete daher auf einen geübten Umgang mit dem System hin. Als drittes Kriterium sollte die Datenauswertung auf mindestens 2 Bremsmanövern pro Versuchsperson und Streckenabschnitt beruhen, um den Einfluss von Extremwerten zu minimieren. Dies war bei der schwierigen Strecke relevant, deren Bremsmanöveranzahl variierte.

Die Datenanalyse zeigte, dass 2 Probanden (VP 145, VP 206) deutlich größere Abstände zum Führungsfahrzeug als die anderen Probanden hielten und wegen der damit verbundenen verminderten Assistenzaktivität von der Datenauswertung ausgeschlossen wurden. Die Analyse der Meterabstände als Kriterium für den geübten Systemumgang zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Bremsmanövern (erster Streckenabschnitt: $F(4,52) = 7.8$, $p < .001$; zweiter Streckenabschnitt: $F(4,52) = 9.3$, $p < .001$). In beiden Streckenabschnitten setzte jeweils ab dem dritten Bremsmanöver ein stabiles Abstandsverhalten ein (siehe Abbildung 4.8). Im ersten Streckenabschnitt hielten die Probanden in der Lernphase zunächst einen geringeren Abstand, möglicherweise weil sie sich durch die Instruktion dazu verpflichtet fühlten. Im zweiten Streckenabschnitt näherten sie sich dem stabilen Verhalten mit zunächst größeren Abständen an. Dies lag wahrscheinlich daran, dass sie sich im mittleren Streckenabschnitt einem sehr langsam fahrenden Fahrzeug angenähert und dadurch eine niedrige Geschwindigkeit erreicht hatten.

Als Resultat der genannten Anforderungen an die Fahrdaten wurden 9 Versuchspersonen mit jeweils den letzten drei Bremsmanövern beider Streckenabschnitte in die Auswertung einbezogen.

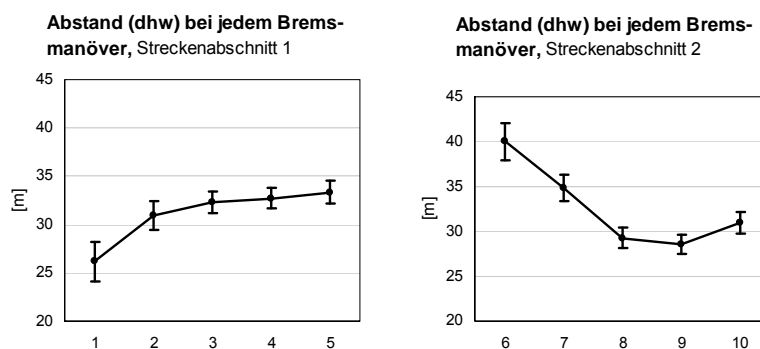


Abb. 4.8: Abstand (dhw) bei Bremsbeginn des Führungsfahrzeugs in den 5 Bremsmanövern des ersten Streckenabschnitts (links) und des zweiten Streckenabschnitts (rechts), jeweils gemittelt über die leichte und schwierige Strecke.

Die Daten wurden auf Ausreißer untersucht und es wurden keine Änderungen vorgenommen. Für jede der 8 Versuchsbedingungen wurden die Fahrdaten als arithmetische Mittelwerte aus dem jeweils dritten bis fünften Bremsmanöver beider Streckenabschnitte gebildet und die Bedingungen in einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung verglichen. Die Voraussetzungen für die Berechnung einer Varianzanalyse wurden geprüft. Bei Verletzung der Sphärizität wird der nach Greenhouse-Geisser korrigierte Wert berichtet. Die absolvierte Reihenfolge der Aufgabenschwierigkeit wurde als Zwischensubjektfaktor berücksichtigt. Es werden alle signifikanten Ergebnisse berichtet. Nicht signifikante Ergebnisse werden nur dann aufgeführt, sofern sie zum Erkenntnisgewinn beitragen. Die Ergebnisse werden zunächst für das Folgefahren und die Verzögerungsphase des ersten Streckenabschnitts (Geschwindigkeitsbeschränkungen) dargestellt und sind jeweils nach Längs- und Querführung gegliedert. Am Ende jeder Phase wird das Fahrverhalten mit den einzelnen Assistenten zusammengefasst beschrieben.

Folgefahren

Die Variablen während des Folgefahrens beschreiben, wie die Versuchspersonen dem mit konstanter Geschwindigkeit fahrenden Führungsfahrzeug gefolgt sind. Tabelle 4.2 enthält die ausgewerteten Variablen.

Tab. 4.2: Variablen zum Fahrverhalten während des Folgefahrens. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt. LF = Längsführung, QF = Querführung

	Variablen	Haupteffekt Assistenzfunktion	Interaktion Assistenzfunktion u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
LF	Anzahl der Kollisionen: 0	-	-	-
	Anteil der Fahrtzeit mit einem Sekundenabstand (THW) unter 0.7s	.027	.666	.845
	Standardabweichung des THW	.549	.000	.522
	Maximaler THW	.298	.120	.162
	Mittlere Geschwindigkeit	.057	.733	.132
	Standardabweichung der Geschwindigkeit	.295	.063	.118
	Standardabweichung der Geschwindigkeitsänderung	.062	.292	.712
QF	Standardabweichung des Lenkwinkels	.785	.725	.614

Längsführung

Kollisionen traten beim Folgefahren in keiner Bedingung auf. Das Abstandsverhalten der Probanden ließ sich anhand des Sekundenabstandes beschreiben. Der Sekundenabstand wurde errechnet anhand des Quotienten der Distanz zum Führungsfahrzeug und der eigenen Geschwindigkeit und wird auch als Time Headway bezeichnet (kurz THW). Der THW zeigte 2 signifikante Effekte. Zum einen unterschieden sich die Assistenten signifikant im Anteil der Fahrtzeit mit weniger als 0.7 s Abstand ($F(3,21) = 3.7$, $p < .05$). Tabelle 4.3 zeigt die geschätzten Mittelwerte und F-Werte des Fahrtzeitanteils mit einem THW unter 0.7 s. Mit

Info-Assistent traten unabhängig von den Aufgabenanforderungen Abstände unter 0.7 s signifikant kürzer auf als ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten (siehe auch Abbildung 4.9). Dieser Effekt stellte eine zentrale Wirkung des Info-Assistenten beim Folgefahren dar. Warnung und Eingriff führten zu keiner Abstandsverbesserung gegenüber der manuellen Fahrt.

Tab. 4.3: Mittelwerte der Variable „Anteil der Fahrtzeit mit THW unter 0.7 Sekunden in Prozent der Gesamtfahrtzeit“ je nach Assistenzbedingung. Außerdem angegeben sind die Standardfehler und die Konfidenzintervalle.

Assistenzfunktion	Mittelwert (%)	Standardfehler	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Ohne	29.92	8.36	10.14	49.69
Info	14.85	7.01	-1.72	31.42
Warnung	35.78	10.80	10.24	61.32
Eingriff	31.89	6.44	16.66	47.13

Als zweiter signifikanter Effekt zeigte sich eine Interaktion bei der Standardabweichung des Sekundenabstands ($F(3,21) = 9.1$, $p < .001$). Wie in Abbildung 4.9 zu sehen ist, variierte in der leichten Aufgabe der Abstand vor allem mit dem Info-Assistenten, in der schwierigen Aufgabe jedoch vor allem mit dem Warn-Assistenten. Tendenziell zeigte sich außerdem eine Interaktion beim maximalen Sekundenabstand ($F(3,21) = 2.46$, $p = .012$), da der größte Abstand mit dem Info-Assistenten in der leichten Aufgabe erreicht wurde (siehe Abbildung 4.9). Der Meterabstand zeigte dieselben Effekte wie der Sekundenabstand und wird daher nicht gesondert beschrieben.

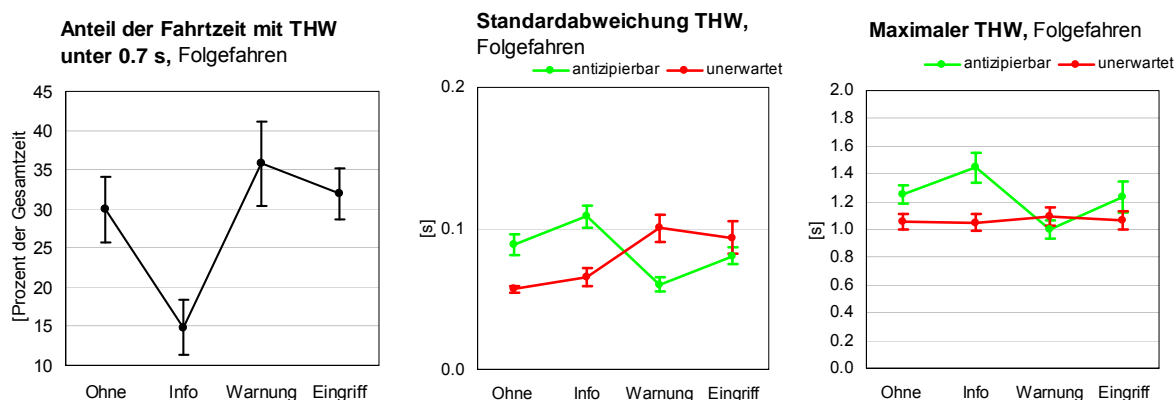


Abb. 4.9: Unterschiede der Assistenzbedingungen im Abstandsverhalten (Folgefahren).

Das Geschwindigkeitsverhalten der Probanden unterschied sich in Bezug auf die mittlere Geschwindigkeit tendenziell zwischen den Assistenten und der manuellen Fahrt ($F(3,21) = 2.9$, $p = .057$). Wie in Abbildung 4.10 sichtbar, wurde ohne Assistenz dem Führungsfahrzeug langsamer gefolgt als mit den Assistenten. Die Standardabweichung der Geschwindigkeit war tendenziell unterschiedlich in der Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen ($F(3,21) = 2.8$, $p = .063$). Abbildung 4.10 zeigt, dass in der schwierigen Aufgabe ohne Assistenz und mit dem Info-Assistenten mit gleichmäßigerer Geschwindigkeit gefahren wurde als mit dem Warn- und dem Brems-Assistenten. Als letzter Effekt beim Geschwindigkeitsverhalten zeigte sich bei der Standardabweichung der Geschwindigkeitsänderung ein

tendenzieller Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,21) = 2.8$, $p = .062$). Die Variable beschreibt, wie konstant die Fahrer beschleunigten bzw. verzögerten. Wie in Abbildung 4.10 sichtbar, wurde mit dem Warn-Assistenten stärker im Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsverhalten variiert als ohne Assistenz oder in den anderen Bedingungen.

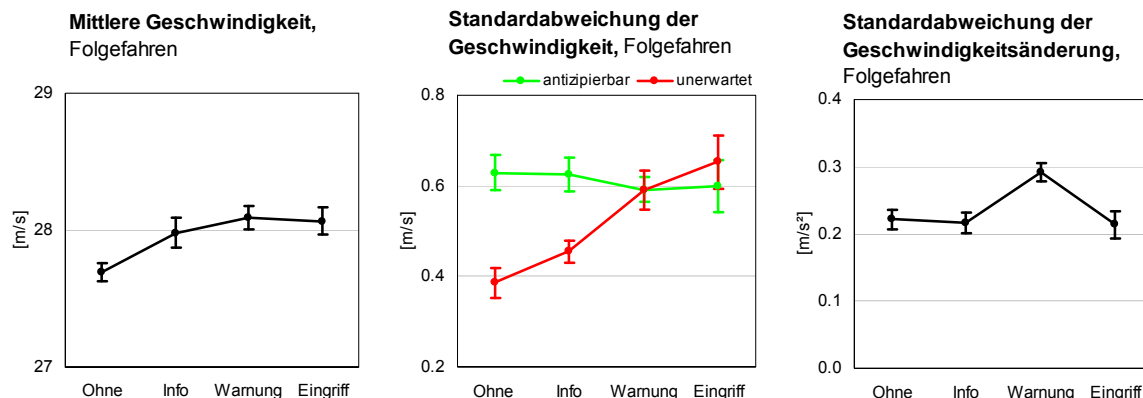


Abb. 4.10: Unterschiede der Assistenzbedingungen im Geschwindigkeitsverhalten (Folgefahren).

Die unterschiedlichen Aufgabenanforderungen wirkten sich beim Folgefahren tendenziell auf die mittlere Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsvariabilität aus. Bei antizipierbarem Bremsbeginn war die mittlere Geschwindigkeit beim Folgefahren tendenziell geringer ($F(1,7) = 2.8$, $p = .132$) und die Geschwindigkeitsvariabilität war tendenziell größer ($F(1,7) = 3.1$, $p = .118$) als bei unerwartetem Bremsbeginn. Die mittleren Abstände zwischen den Fahrzeugen unterschieden sich nicht zwischen den Aufgabenanforderungen.

Querführung

Die Standardabweichung des Lenkradwinkels beschreibt die Stärke der Lenkradbewegungen. Die Variable zeigte keinen Haupteffekt der Assistenzbedingung ($F(3,21) = .36$, $p = .785$) und keine Interaktion von Assistenzbedingung und Aufgabenschwierigkeit ($F(3,21) = .61$, $p = .614$), es wurde also in keiner Bedingung stärker gelenkt als in den anderen. Spurübertretungen gab es in der leichten Aufgabe nicht. In der schwierigen Bedingung wurde mit dem Warn-Assistenten zweimal die Spur verlassen und mit dem Brems-Assistenten einmal. Da alle Spurübertretungen bei derselben Versuchsperson stattfanden, lassen sie sich nicht unbedingt auf das Assistenzsystem zurückführen. Zum Zeitpunkt des Bremsbeginns waren die Spurübertretungen wieder beendet.

Die Folgefahrt endete, wenn das Führungsfahrzeug begann zu bremsen. In Tabelle 4.4 sind die ausgewerteten Variablen dargestellt.

Tab. 4.4: Variablen zum Fahrverhalten zum Bremsbeginn. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt. LF = Längsführung, QF = Querführung

	Variablen	Haupteffekt Assistenzfunktion	Interaktion Assistenzfunktion u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
LF	Sekundenabstand (THW) zum Bremsbeginn	.087	.326	.084
	Geschwindigkeit zum Bremsbeginn	.336	.781	.040

Zum Zeitpunkt des Bremsbeginns gab es tendenzielle Unterschiede im Sekundenabstand zwischen den Assistenzbedingungen ($F(3,21) = 2.5$, $p = .087$). Wie Abbildung 4.11 zeigt, wurden mit dem Warn-Assistenten und dem Eingriff zum Bremsbeginn geringere Sekundenabstände erreicht als bei der manuellen Fahrt oder mit dem Info-Assistenten. Der Meterabstand zeigte denselben Effekt und wird daher nicht gesondert aufgeführt. Die Geschwindigkeit zum Bremszeitpunkt unterschied sich nicht zwischen den Assistenzbedingungen.

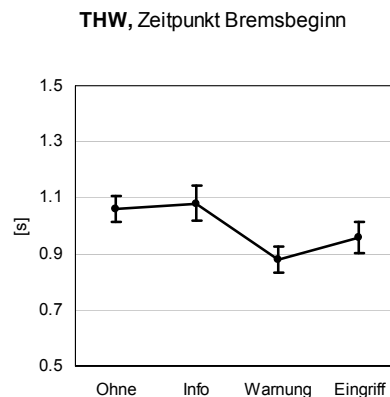


Abb. 4.11: Sekundenabstand der Assistenzbedingungen zum Zeitpunkt des Bremsbeginns.

Die unterschiedlichen Aufgabenanforderungen resultierten ebenfalls in unterschiedlichem Fahrverhalten zum Bremsbeginn. Bei antizipierbarem Bremsmanöver war die Geschwindigkeit zum Bremszeitpunkt signifikant geringer als bei unerwartetem Bremsmanöver ($F(1,7) = 6.2$, $p < .05$). Außerdem war der Sekundenabstand bei antizipierbarem Bremsbeginn größer als bei unerwartetem Bremsmanöver ($F(1,7) = 4$, $p = .084$).

Zusammenfassung des Fahrverhaltens beim Folgefahren

Die wesentliche Wirkung des Info-Assistenten bestand darin, den Fahrer beim Folgefahren bei der Vermeidung kleiner Abstände zu unterstützen und dadurch ein besseres Abstandsverhalten als bei manueller Fahrt zu ermöglichen. Warn-Assistent und Eingriff brachten hier keine Vorteile gegenüber der unassistenten Fahrt. Diese Vermeidung kleiner Abstände unterstützte der Info-Assistent sowohl bei leichter als auch bei schwieriger Aufgabe, also auch dann wenn unklar war, wann das Führungsfahrzeug bremsen wird. Diesem Abstandsverhalten lag jedoch je nach Aufgabenanforderung ein unterschiedliches Fahrverhalten zugrunde. In der leichten Aufgabe hielten die Fahrer generell einen größeren Abstand mit dem Info-Assistenten als in den anderen Bedingungen und konnten dadurch geringe Abstände vermeiden. In der leichten Aufgabe wurde stärker im Abstand zum Führungsfahrzeug geschwankt als mit den anderen Assistenten. Gleichzeitig waren die Geschwindigkeitsschwankungen und die Variabilität der Geschwindigkeitsänderungen aber ähnlich wie mit den anderen Assistenten. Die stärkeren Abstandsschwankungen des Info-Assistenten sind daher wahrscheinlich nicht durch häufiges Annähern und Entfernen vom Führungsfahrzeug zu erklären. Der hohe Maximalabstand spricht eher dafür, dass mit dem Info-Assistenten in der leichten Aufgabe generell ein größerer Abstand gehalten wurde und aufgrund der größeren Entfernung die Schwankungen im Abstand höher ausfielen.

In der schwierigen Aufgabe war der Maximalabstand mit dem Info-Assistenten nicht höher als bei manueller Fahrt oder mit den anderen Assistenten. Dies liegt möglicherweise daran, dass die Versuchspersonen instruiert waren, dicht am Führungsfahrzeug zu bleiben. Gleich-

zeitig wurde mit dem Info-Assistenten ebenso wenig im Abstand, in der Geschwindigkeit und in den Geschwindigkeitsänderungen variiert wie bei manueller Fahrt. Die Versuchspersonen konnten also mit dem Info-Assistenten in der schwierigen Aufgabe dem Führungsfahrzeug mit recht konstanter Geschwindigkeit und konstantem Abstand folgen. Zum Zeitpunkt des Bremsbeginns wurden mit dem Info-Assistenten ähnliche Abstände zum Führungsfahrzeug erreicht wie bei manueller Fahrt. Die Ausgangssituation für das Verzögerungsmanöver war also beim Info-Assistenten nicht besser als bei manueller Fahrt, jedoch konnten mit ihm die Fahrer zwischenzeitlich beim Folgefahren kritische Situationen häufiger vermeiden als bei manueller Fahrt. Warn-Assistent und Eingriff führten beim Folgefahren zu keiner Verbesserung des Abstandverhaltens gegenüber der manuellen Fahrt. Mit beiden Assistenten wurde in der schwierigen Aufgabe stärker im Abstand und in der Geschwindigkeit variiert als ohne Assistenz. Der Warn-Assistent zeigte außerdem eine höhere Variabilität der Geschwindigkeitsänderungen, was für ein häufiges Annähern und Entfernen vom Führungsfahrzeug spricht. Zum Zeitpunkt des Bremsbeginns schließlich wurden mit beiden Assistenten niedrigere Abstände zum Führungsfahrzeug erreicht als bei der manuellen Fahrt. Somit waren Warn-Assistent und Eingriff keine Hilfe dabei, mit einem vergleichbaren Abstand in die Bremssituation zu gehen wie bei manueller Fahrt. Möglicherweise lag das daran, dass beide Assistenten wenig Unterstützung in der Phase des Folgefahrens boten und auch nicht bieten konnten, da sie ja wie oben bei der Analyse der Systemaktivität beschrieben beim Folgefahren entsprechend ihrer Konzeption kaum aktiv waren. Allerdings hätten dann die Fahrer aber eine Leistung vergleichbar zur manuellen Fahrt zeigen müssen, bei der ja auch kein System aktiv war. Die schlechtere Leistung gegenüber der manuellen Fahrt lässt sich möglicherweise mit Verhaltensweisen erklären, die unter dem Begriff Risikohomöostase (Wilde, 1982; Trimpop, 1996) bekannt sind. Die Fahrer überkompensierten subjektiv wahrgenommene Sicherheitsgewinne von Assistenzsystemen durch eigenes riskanteres Verhalten und begannen hier daher erst später als bei der manuellen Fahrt zu bremsen.

Neben dem Fahrverhalten mit den Assistenten beschreiben die Ergebnisse außerdem die Wirkung der unterschiedlichen Aufgabenanforderungen. War das Bremsereignis antizipierbar, so gab es während des Folgefahrens eine höhere Geschwindigkeitsvariabilität als beim unerwarteten Bremsmanöver. Gleichzeitig war in beiden Bedingungen die Variabilität der Geschwindigkeitsänderungen ähnlich. Die höhere Geschwindigkeitsvariabilität dürfte also durch kontinuierliches Reduzieren der Geschwindigkeit entstanden sein und nicht durch wiederholtes Beschleunigen und Bremsen. Durch diese stärkere Geschwindigkeitsreduktion erreichten die Versuchspersonen zum Zeitpunkt des Bremsbeginns bei antizipierbaren Bremsmanövern eine signifikant niedrigere Geschwindigkeit als bei unerwarteten Bremsmanövern. Beim Folgefahren hatte sich der Sekundenabstand nicht signifikant zwischen den Aufgabenanforderungen unterschieden, zum Bremsbeginn war er jedoch bei antizipierbaren Bremsmanövern signifikant größer als bei unerwarteten Bremsmanövern. Konnten die Fahrer also ein Bremsmanöver des Führungsfahrzeugs antizipieren, so reduzierten sie stärker ihre Geschwindigkeit und bauten einen größeren Abstand auf als wenn das Bremsen überraschend geschah.

Verzögerungsphase

Die Verzögerungsphase begann mit dem Bremsbeginn des Führungsfahrzeugs und endete, wenn dieses wieder seine ursprüngliche Geschwindigkeit erreicht hatte. Die Variablen der Verzögerungsphase beschreiben, wie die Versuchspersonen auf das antizipierbare bzw. überraschende Bremsmanöver des Führungsfahrzeugs reagierten. Tabelle 4.5 gibt eine Ü-

bersicht der ausgewerteten Variablen. Für einige Variablen wurde das Fahrverhalten der Verzögerungsphase abschnittsweise für Zeiteinheiten von 500 ms Länge ausgewertet, um das Verhalten im zeitlichen Verlauf zu betrachten. Diese sind im unteren Teil der Tabelle 4.5 dargestellt.

Tab. 4.5: Variablen zum Fahrverhalten in der Verzögerungsphase. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt. LF = Längsführung, QF = Querverführung

	Variable	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
LF	Anzahl der Kollisionen: 0	-	-	-
	Anteil der Fahrtzeit mit einer TTC < 3 s	.050	.152	.049
	Minimale TTC	.703	.370	.035
	Anteil der Fahrtzeit mit einem Sekundenabstand (THW) unter 0.7 s	.062	.146	.871
	Minimaler THW	.104	.164	.472
	Bremskraft, Vergleich Gesamtsystem	.148	.210	.037
	Bremskraft, Vergleich der Fahrer	.036	.323	.000
	Maximale Bremspedalstellung, Vergleich Gesamtsystem	.251	.371	.000
QF	Standardabweichung des Lenkradwinkels	.932	.580	.347
	Variable	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen u. Zeitpunkt	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
LF	Zeitabschnitte: TTC unter 3 s	.015	.146	.078
	Zeitabschnitte: maximale Bremspedalstellung, Vergleich Gesamtsystem	.061	.131	.001

Längsführung

Kollisionen traten in der Verzögerungsphase nicht auf. Das Abstandsverhalten lässt sich durch die Time-To-Collision (TTC) beschreiben. Die TTC gibt die Zeit bis zu einer möglichen Kollision an und tritt nur auf, sofern die Geschwindigkeit des Führungsfahrzeugs unter der eigenen liegt. Der Fahrtzeitanteil mit TTC unter 3 s beschreibt den prozentualen Anteil der Verzögerungsphase, in dem die Zeit bis zu einer Kollision unter 3 s liegt. Die Variable zeigte einen tendenziellen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,21) = 3.06$, $p = .050$). Tabelle 4.6 zeigt die geschätzten Mittelwerte der Fahrtzeitanteile mit einer TTC unter 3 s.

Tab. 4.6: Mittelwerte der Variable „Anteil der Fahrtzeit mit einer TTC unter 3 Sekunden in Prozent der Gesamtfahrtzeit“ je nach Assistenzbedingung. Außerdem angegeben sind die Standardfehler und die Konfidenzintervalle.

Assistenzfunktion	Mittelwert (%)	Standardfehler	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Ohne	2.76	1.12	0.11	5.41
Info	4.93	1.33	1.79	8.07
Warnung	4.31	0.72	2.61	6.01
Eingriff	1.59	1.19	-1.22	4.39

Der Brems-Assistent führte dazu, dass Fahrtzeiten mit geringen TTC-Werten tendenziell kürzer waren als das bei manueller Fahrt oder in den anderen Assistenzbedingungen der Fall war. Dieser Effekt stellte eine zentrale Wirkung des Brems-Assistenten in der Verzögerungsphase dar. Mit dem Info-Assistenten und dem Warn-Assistenten war der Zeitanteil mit niedrigen TTC-Werten am höchsten. Diese beiden Assistenten führten also länger zu gefährlicheren Situationen als die manuelle Fahrt. In Abbildung 4.12 sind die Mittelwerte der relativen Fahrtzeit mit TTC unter 3 s für die Assistenzbedingungen dargestellt.

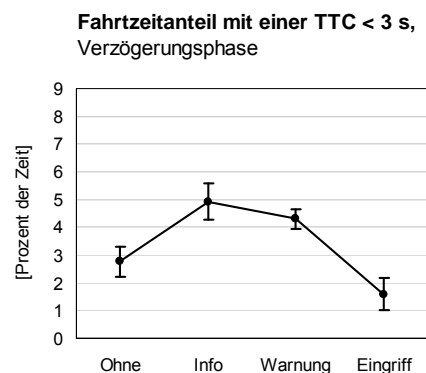


Abb. 4.12: Unterschiede der Assistenzbedingungen bezüglich der relativen Dauer von TTC unter 3 s (Verzögerungsphase).

Unterschreitungen der TTC von 3 s traten nicht in allen Bremssituationen auf. Daher war nicht nur der über alle Situationen gemittelte Fahrtzeitanteil relevant, sondern auch, wie die durchschnittliche Dauer war, wenn es zu einer Unterschreitung kam, und wie häufig diese Unterschreitungen auftraten. Tabelle 4.7 zeigt, wie lange diese Unterschreitungen andauerten und wie häufig sie vorkamen. Die Häufigkeiten sind in Prozent der durchgeführten Bremsungen angegeben und unterschieden sich bei den unerwarteten Bremsmanövern signifikant zwischen den Assistenzbedingungen ($Q(3) = 20.5$, $p < .001$). Wie Tabelle 4.7 zeigt, hielten bei unerwarteten Bremsmanövern die Unterschreitungen mit dem Brems-Assistenten im Durchschnitt für 1.6 % der Gesamtfahrtzeit an und traten bei 23 % der Fahrten auf und damit weniger häufig als in den anderen Assistenzbedingungen. Der Brems-Assistent konnte somit bei unerwarteten Bremsmanövern Situationen mit niedrigen TTC verkürzen und ihre Anzahl verringern.

Tab. 4.7: Fahrzeitanteil (in Prozent der Gesamtfahrzeit) in dem eine TTC von 3 Sekunden unterschritten wurde (nur Fälle, in denen es zur Unterschreitung kam) und Häufigkeiten (in Prozent der Bremsungen) mit denen diese Unterschreitung auftrat, je nach Assistenzfunktion und Aufgabenschwierigkeit.

	Fahrzeitanteil in %, in dem TTC von 3 s unterschritten wurde, nur bei Unterschreitung		Häufigkeiten in %, mit der TTC von 3 s unterschritten wurden	
Assistenzfunktion	Antizipierbares Bremsmanöver	Unerwartetes Bremsmanöver	Antizipierbares Bremsmanöver	Unerwartetes Bremsmanöver
Ohne	6.9	14.7	11.1	33.3
Info	11.5	10.5	22.2	64.0
Warnung	6.9	13.0	29.6	48.1
Eingriff	8.8	1.6	33.3	23.1

Zum Verständnis der Wirkungsweise der Assistenten sollte untersucht werden, wann diese Unterschreitungen der TTC im Durchschnitt auftraten. Dazu wurde die Unterschreitungsdauer in elf Zeitabschnitten mit einer Länge von jeweils 500 ms betrachtet. Die Zeitabschnitte begannen mit dem Bremsbeginn des Führungsfahrzeugs und endeten 5.5 s danach. In diesem Zeitraum erreichte das Führungsfahrzeug nach 3.5 s seine niedrigste Geschwindigkeit. Für diese Betrachtung wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Zeitabschnitt, Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen durchgeführt. Neben dem bereits genannten Haupteffekt der Assistenzfunktion zeigte sich eine tendenzielle Interaktion aller 3 Faktoren ($F(30,210) = 1.3$, $p = .146$). In Abbildung 4.13 ist für die unerwarteten Bremsmanöver für jeden 500 ms-Zeitabschnitt der Anteil an Fahrtzeit dargestellt, in dem die TTC unter 3 s lag. Bei Fahrten mit dem Brems-Assistenten traten Zeiträume mit niedrigen TTC später auf (nach 2.5 s) und endeten früher (nach 4 s) als bei manueller Fahrt und mit den anderen Assistenten. Der TTC-Wert wurde beim Brems-Assistenten hauptsächlich im Zeitabschnitt zwischen 3 und 3.5 s unterschritten und die Unterschreitung dauerte im Mittel 6.3 % des Zeitabschnitts. Mit den anderen Assistenten wurde der Grenzwert bereits nach 1 s unterschritten und erst wieder nach 4.5 s oder später überschritten.

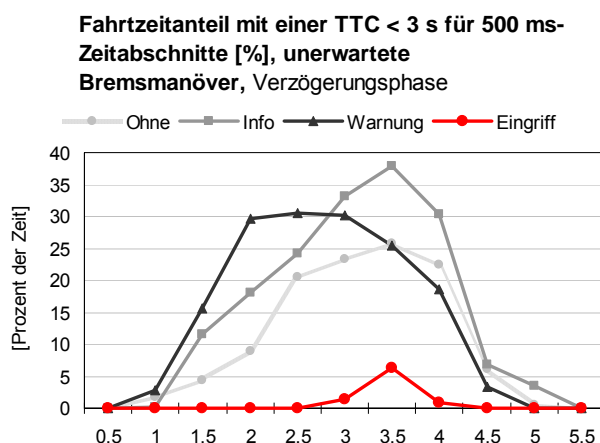


Abb. 4.13: Fahrzeitanteil mit TTC unter 3 s für den Zeitraum von 5.5 s nach Bremsbeginn, unterteilt in 500 ms-Abschnitte. Abgebildet sind die Fahrzeitanteile für die unerwarteten Bremsmanöver. Auf die Darstellung der Standardfehler wird aus Übersichtlichkeitsgründen verzichtet.

Die minimale TTC des gesamten Verzögerungszeitraums zeigte keinen Unterschied zwischen der manuellen Fahrt bzw. den Assistenzfunktionen ($F(3,21) = 0.47$, $p = .703$). Die bis zu einer möglichen Kollision verbleibende Zeit reduzierte sich also bei allen Assistenten auf ähnliche Werte wie bei manueller Fahrt.

Das Abstandsverhalten lässt sich neben der TTC auch durch den Sekundenabstand beschreiben. Während die TTC das Verzögerungsverhalten des Führungsfahrzeugs einbezieht und eher die Gefährlichkeit der Situation beschreibt, berücksichtigt der Sekundenabstand nur die eigene Geschwindigkeit und beschreibt daher eher, wie Fahrer den Abstand zum Führungsfahrzeug kontrollieren. Hier gab es 2 tendenzielle Effekte der Assistenzfunktion. Die relative Dauer des Sekundenabstandes unter 0.7 s beschreibt, wie viel Prozent der Verzögerungsphase mit einem Abstand unter 0.7 s verbracht wurden und zeigte einen tendenziellen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,21) = 2.8$, $p = .062$). Wie Abbildung 4.14 (links) zeigt, wurde mit dem Warn-Assistenten am längsten mit diesem geringen Abstand gefahren. Der minimale Sekundenabstand zeigte ebenfalls einen tendenziellen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,21) = 2.32$, $p = .104$). Wie Abbildung 4.14 (rechts) zeigt, wurden die geringsten Sekundenabstände mit dem Warn-Assistenten und dem Eingriff erreicht. Der minimale Meterabstand zeigte dieselben Effekte wie der minimale Sekundenabstand und wird daher nicht gesondert beschrieben.

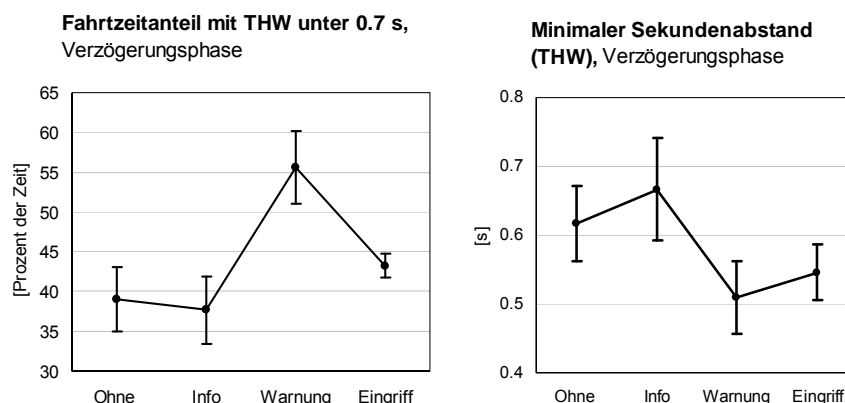


Abb. 4.14: Unterschiede der Assistenzbedingungen im Sekundenabstand (Verzögerungsphase).

Das Geschwindigkeitsverhalten war in der Verzögerungsphase dadurch gekennzeichnet, dass die Geschwindigkeit an das bremsende Führungsfahrzeug anzupassen war. Die Bremskraft beschreibt, mit welcher Stärke und Schnelligkeit die Versuchspersonen die Bremse betätigten. Sie errechnet sich aus dem Quotienten von Bremsmaximum und der Zeit von Bremsbeginn bis –maximum. Die Bremskraft steigt, wenn das Bremspedal stärker betätigt wird, schneller betätigt wird oder beides geschieht. Im Vergleich der Bremskräfte, die die Probanden in den verschiedenen Assistenzbedingungen aufbrachten, zeigte sich ein tendenzieller Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,21) = 2.62$, $p = .148$). Bei Fahrten mit dem Brems-Assistenten wurde mehr Bremskraft aufgewendet als bei manueller Fahrweise oder den beiden anderen Assistenten. Konstruktionsgemäß konnte diese vom Fahrer oder vom System ausgehen, je nachdem wer stärker bremste. In 77% der Fälle war die Bremskraft des Assistenten höher als die des Fahrers, so dass die hohe Bremskraft also in mehr als Dreiviertel aller Situationen durch den Assistenzeingriff zustande kam. Verglich man hingegen, welche Bremskräfte ausschließlich die Fahrer mit den einzelnen Assistenten aufbrachten, so zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,21) = 3.42$, $p <$

.05) – jedoch in umgekehrter Richtung. Der Fahrer selbst bremste in den Fahrten mit dem Brems-Assistenten signifikant schwächer als bei manueller Fahrt oder mit den anderen Assistenten. Mit dem Warn-Assistenten musste er am stärksten bremsen. In Abbildung 4.15 zeigen die linken 4 Balken die vom Fahrer mit den einzelnen Assistenten aufgebrauchten Bremskräfte, der rechte Balken zeigt die gemeinsame Bremskraft von Brems-Assistent und Fahrer. In der Eingriff-Bedingung wurde also durch das Gesamtsystem eine höhere Bremskraft als ohne Assistenz erbracht, wofür der Fahrer aber weniger tun musste.

Wie bereits beschrieben, konnte eine höhere Bremskraft durch stärkeres oder schnelleres Bremsen zustande kommen oder durch beides. Die maximale Bremspedalstellung beschreibt, wie stark gebremst wurde. Sie lag beim Brems-Assistenten nur virtuell vor, da sich das Bremspedal nicht bewegte. Die Ergebnisse zeigten keine signifikanten Unterschiede der Bremsstärke zwischen der manuellen und den assistierten Fahrten ($F(3,21) = 1.47$, $p = .251$). Da in der Bedingung mit dem Brems-Assistenten nicht stärker gebremst wurde als in den anderen Bedingungen, muss die oben beschriebene höhere Bremskraft des Brems-Assistenten durch zügigeres Bremsen zustande gekommen sein. Eine wesentliche Wirkung des Brems-Assistenten bestand demnach in der Schnelligkeit, mit der er eingriff und dadurch Fahrzeiten mit kritischen TTC-Werten umgehend wieder beenden konnte

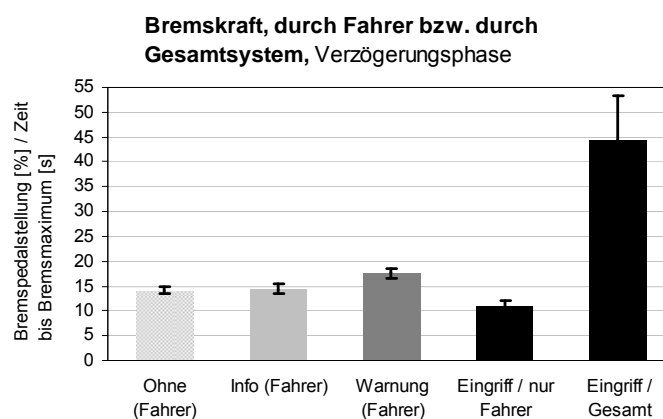


Abb. 4.15: Unterschiede der Bremskraft des Fahrers (in allen Bedingungen) bzw. des Gesamtsystems (in der Eingriff-Bedingung) je nach Assistenzbedingung.

Das Bremsverhalten bei manueller Fahrt bzw. den verschiedenen Assistenten unterschied sich auch im zeitlichen Verlauf. In diese Betrachtung wurde beim Brems-Assistenten neben dem Bremsengriff auch der Bremsruck einbezogen, um alle Assistenzeinflüsse auf die Fahrzeugverzögerung zu erfassen. Verglich man für die 11 Zeitabschnitte die maximale Bremspedalstellung der Eingriff-Bedingung mit der der anderen Bedingungen, so zeigte sich eine tendenzielle Interaktion von Assistenzfunktion, Aufgabenanforderungen und Zeitpunkt ($F(30,210) = 1.32$, $p = .131$). Abbildung 4.16 stellt die maximale Bremspedalstellung jeder Assistenzbedingung in den 11 Zeitabschnitten für die unerwarteten Bremsmanöver dar. Auffällig war, dass der Brems-Assistent sofort beim Bremsen des Führungsfahrzeugs aktiv war, während die Fahrer ohne Assistenz bzw. mit Info- oder Warn-Assistent erst nach 1 s begannen zu bremsen. Diese frühe Aktivität war auf die Warnfunktion des Brems-Assistenten zurückzuführen. Sie ermöglichte eine unmittelbar auf den Bremsbeginn des Führungsfahrzeugs folgende Fahrzeugverzögerung und stellte ein weiteres wesentliches Merkmal des Brems-Assistenten dar.

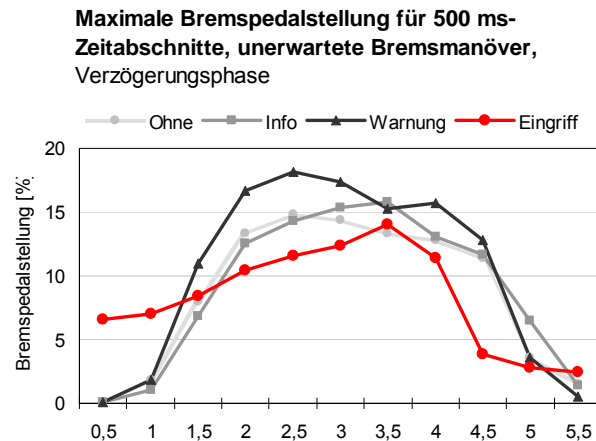


Abb. 4.16: Maximale Bremspedalposition für den Zeitraum von 5.5 s nach Bremsbeginn, unterteilt in 500 ms-Abschnitte. Dargestellt ist die maximale Bremspedalstellung je nach Assistenzfunktion für die schwierige Aufgabe. Das Bremspedal wird vom Fahrer (in den Bedingungen „Ohne“, „Info“ und „Warnung“) bzw. vom Assistenten (für „Eingriff“) betätigt. Auf die Darstellung der Standardfehler wird aus Übersichtlichkeitsgründen verzichtet.

Das Fahrverhalten unterschied sich außerdem aufgrund der unterschiedlichen Aufgabenanforderungen. Es gab einen signifikanten Unterschied bei den Fahrzeitanteilen mit niedrigen TTC. Bei unerwarteten Bremsmanövern wurde länger mit kritischen TTC gefahren (Fahrzeitanteil von TTC unter 3 Sekunden) als bei antizipierbaren ($F(1,7) = 5.6$, $p < .05$). Die TTC erreichte bei den unerwarteten Bremsmanövern außerdem niedrigere Werte als bei den antizipierbaren ($F(1,7) = 6.8$, $p < .05$). Es gab keine Auswirkungen der Aufgabenanforderungen auf die relative Dauer geringer Sekundenabstände oder auf die minimalen Sekundenabstände. Bei den unerwarteten Bremsmanövern waren die Bremskräfte des Fahrers ($F(1,7) = 31.23$, $p = .001$) und des Gesamtsystems ($F(1,7) = 6.58$, $p < .05$) sowie die Bremsmaxima ($F(1,7) = 55.1$, $p < .001$) höher als bei den antizipierbaren Bremsmanövern.

Querführung

Die Standardabweichung des Lenkradwinkels unterschied sich nicht zwischen den Assistenzbedingungen, es wurde also in keiner Bedingung stärker gelenkt als in den anderen. Spurübertretungen fanden bei derselben Person wie in der Folgefahrt statt (in der leichten Aufgabe einmal mit dem Warn-Assistenten, in der schwierigen Bedingung einmal mit dem Info-Assistenten und zweimal mit dem Warn-Assistenten) und wurden daher nicht auf die Wirkung der Assistenzsysteme zurückgeführt.

Zusammenfassung des Fahrverhaltens in der Verzögerungsphase

Anhand der Ergebnisse der Verzögerungsphase lässt sich beschreiben, wie die einzelnen Assistenten im Vergleich zur unassistenten Fahrt dabei unterstützten, auf ein plötzlich bremsendes Fahrzeug zu reagieren. Der Brems-Assistent konnte gefährliche Situationen in Form von kritischen TTC sowohl verkürzen als auch in ihrer Anzahl reduzieren. Kritische Situationen begannen später und endeten früher als ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten. Der spätere Beginn der geringen TTC-Werte kam durch die Wirkung des Bremsrucks zustande, der neben seiner Warnfunktion das Fahrzeug verzögerte. Das zügige Beenden kritischer Situationen lässt sich durch die Schnelligkeit des Brems-Assistenten erklären. Der Brems-Assistent bremste nicht stärker ab als die Fahrer es manuell taten bzw. mit den anderen Assistenten. Er bremste aber wesentlich zügiger ab und konnte dadurch Zeiträume mit

kritischen TTC-Werten schneller beenden als es dem Fahrer manuell möglich war. Gleichzeitig musste der Fahrer für diese Leistung weniger eigene Bremskraft aufbringen als in den anderen Bedingungen. Die Zeiträume mit kritischen TTC-Werten waren mit dem Brems-Assistenten nicht nur kürzer, sie traten außerdem auch seltener auf. Die minimale Zeit bis zu einer möglichen Kollision konnte der Brems-Assistent allerdings gegenüber der manuellen Fahrt nicht verbessern.

Mit dem Warn- und dem Info-Assistenten wurde länger mit kritischen TTC-Werten gefahren als in der manuellen Fahrt. Der Warn-Assistent erwies sich als besonders ungeeignet, da die Fahrer mit ihm zusätzlich am wenigsten Abstand hielten und dieses auch noch am längsten. Mit dem Info-Assistenten wurde mehr Abstand zum Führungsfahrzeug gehalten als mit dem Warn-Assistenten.

Die unerwarteten Bremsmanöver unterschieden sich von den antizipierbaren dadurch, dass für längere Zeit kritische TTC-Werte erreicht wurden und niedrigere TTC-Werte erreicht wurden. Dieses kann an der unterschiedlichen Erwartbarkeit der Bremsmanöver gelegen haben, ebenso wie an der stärkeren Verzögerung des Führungsfahrzeuges in der schwierigen Aufgabe (3 m/s^2) gegenüber der leichten Aufgabe (2 m/s^2).

Kreuzungssituationen

Das Fahrverhalten in den Kreuzungssituationen im zweiten Streckenabschnitt soll aus Platzgründen nur kurz dargestellt werden. Zunächst werden die Ergebnisse getrennt für Folgefahren und Verzögerungsphase dargestellt und dann mit dem Fahrverhalten in den Geschwindigkeitsbeschränkungszonen des vorigen Abschnitts verglichen. Tabelle 4.8 zeigt die ausgewerteten Variablen.

Tab. 4.8: Variablen zum Fahrverhalten in den Kreuzungssituationen für die Phasen des Folgefahrens, zum Bremszeitpunkt und in der Verzögerungsphase. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt.

	Variable	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Folgefahren	Anteil der Fahrtzeit mit einem Sekundenabstand (THW) unter 0.7 s	.090	.784	.134
	Anteil der Fahrtzeit mit einem Sekundenabstand (THW) unter 1 s	.071	.514	.596
	Standardabweichung des THW	.317	.124	.239
	Mittlere Geschwindigkeit	.077	.783	.026
Bremsen	Mittlere Geschwindigkeit	.084	.821	.000
Verzögerungsphase	Anteil der Fahrtzeit mit $\text{TTC} < 3 \text{ s}$.001	.338	.064
	Anteil der Fahrtzeit mit $\text{TTC} < 4 \text{ s}$.055	.802	.007
	Bremskraft, Vergleich Gesamtsystem	.006	.859	.171
	Bremskraft, Vergleich der Fahrer	.000	.225	.000
	Maximale Bremspedalstellung, Vergleich Gesamtsystem	.569	.233	.000

Beim Folgefahren zwischen den Kreuzungen traten keine Kollisionen auf. Wie im ersten Streckenabschnitt zeigte sich ein tendenzieller Haupteffekt der Assistenzfunktion in der Dauer, mit der ein Sekundenabstand von 0.7 s unterschritten wurde ($F(1,7) = 2.4$, $p = .09$). Zusätzlich gab es hier einen tendenziellen Haupteffekt der Dauer der Sekundenabstände unter 1 s ($F(1,7) = 2.7$, $p = .071$). Bei beiden Variablen fuhren die Probanden mit dem Info-Assistenten am kürzesten mit diesen niedrigen Sekundenabständen. Im Unterschied zum Folgefahren im ersten Streckenabschnitt gab es eine tendenzielle Interaktion der Variation des Sekundenabstandes ($F(3,21) = 2.1$, $p = .124$). Mit dem Warn-Assistenten wurde gerade in der leichten Aufgabe weniger im Abstand variiert als mit den anderen Assistenten. Die Unterstützungsarten unterschieden sich außerdem tendenziell in ihrer mittleren Geschwindigkeit ($F(1,7) = 2.6$, $p = .077$). Dabei war die Geschwindigkeit mit dem Brems-Assistenten höher als bei manueller Fahrt oder den anderen Assistenten. Im Bereich der Querverführung traten Spurübertretungen wieder bei derselben Versuchsperson auf wie in den Geschwindigkeitsbeschränkungen. Die Variation des Lenkradwinkels zeigt keine Unterschiede zwischen den Assistenzbedingungen.

Zum Bremszeitpunkt gab es einen tendenziellen Haupteffekt der Assistenzfunktion in der mittleren Geschwindigkeit ($F(1,7) = 2.5$, $p = .084$). Die Geschwindigkeit war mit dem Brems-Assistenten am höchsten.

In der Verzögerungsphase kam es ebenfalls nicht zu Kollisionen. Genau wie beim Verzögern im ersten Streckenabschnitt unterschied sich die Dauer mit TTC-Werten unter 3 Sekunden zwischen den Assistenzfunktionen ($F(3,21) = p = .001$). Zusätzlich gab es hier auch einen tendenziellen Unterschied bei der Dauer mit TTC-Werten unter 4 Sekunden ($F(3,21) = p = .056$). Bei beiden Variablen wurde mit dem Brems-Assistenten ein geringerer Fahrtzeitanteil mit kritischen TTC-Werten verbracht als bei manueller Fahrweise. Die minimale TTC zeigte keine Unterschiede zwischen den Assistenzfunktionen, die Situation wurde mit Assistenten also ähnlich gefährlich wie ohne. Im Unterschied zum ersten Streckenabschnitt unterschieden sich die Assistenten nicht in den minimalen Sekundenabständen bzw. in den Fahrtzeitanteilen mit niedrigen Sekundenabständen. Das Bremsverhalten war ähnlich wie im ersten Abschnitt. Die Bremskraft war wieder mit dem Brems-Assistenten höher als bei manueller Fahrt oder den anderen Assistenten ($F(1,7) = 14.6$, $p < .05$) und dieses lag wiederum daran, dass er schnell eingriff. Für diesen Eingriff musste der Fahrer weniger Bremskraft aufbringen ($F(3,21) = 8.2$, $p = .001$) als in den anderen Bedingungen. Innerhalb der Querverführung traten wieder bei derselben Versuchsperson Spurüberschreitungen auf. Die Standardabweichung des Lenkradwinkels zeigte keine Unterschiede zwischen den Assistenzbedingungen.

Somit war auch in den Kreuzungssituationen beim Folgefahren der Info-Assistent tendenziell besser geeignet, dauerhaft kleine Abstände zu vermeiden, als es manuell ohne Unterstützung möglich war. Im Gegensatz zu den Geschwindigkeitszonen des ersten Streckenabschnitts schaffte er dieses tendenziell sogar bis zu Abständen von 1 s. Zum Bremsbeginn bestanden jedoch keine Unterschiede der Sekundenabstände mehr zwischen manueller Fahrt und den Assistenten, der Info-Assistent konnte also hier nicht so eindeutig größere Abstände herausarbeiten wie in den Geschwindigkeitszonen. Während im Streckenabschnitt der Geschwindigkeitsbeschränkungen mit allen Assistenten schneller gefahren wurde als ohne Assistenz, wurde jetzt nur mit dem Brems-Assistenten schneller gefahren. Auch in der Verzögerungsphase war das Fahrverhalten zwischen den Kreuzungen und dem in den Geschwindigkeitsbeschränkungszonen vergleichbar. Der Brems-Assistent verhinderte dauerhaftes Fahren mit kleinen TTC-Werten signifikant gegenüber dem manuellen Fahren ohne Unterstützung, indem er sehr viel zügiger bremste als es die Fahrer taten. Insgesamt wirkten

die Assistenten in den Geschwindigkeitszonen und in den Kreuzungssituationen also auf ähnliche Weise im Vergleich zur manuellen Fahrt. Der Nutzen des Info-Assistenten für das Abstandhalten bei konstantem Folgefahren und der Nutzen des Brems-Assistenten für das zügige Handeln bei plötzlichen Bremsereignissen schienen somit für beide Situationen zu gelten.

4.2.4 Physiologische Beanspruchungsmessung

Physiologische Beanspruchungsparameter maßen die objektive Beanspruchung der Fahrer und ergänzten daher die subjektiven Bewertungen der Aufgabenanforderungen und die aus den Fahrdaten gewonnenen Erkenntnisse über die unterstützende Wirkung der Systeme. Als Beanspruchungsparameter lagen die mittleren Differenz-IBI getrennt für das Folgefahren und die Verzögerungsphase vor. Die Differenz-IBI beschrieben die mittlere Differenz zwischen der Herzrate im Versuch und der Herzrate in einer Ruhephase vor dem Versuch. Eine negative Differenz deutete auf eine höhere Beanspruchung im Versuch gegenüber der Ruhephase hin, da die Zeit zwischen den R-Zacken sank, und eine positive Differenz deutete auf eine niedrigere Beanspruchung. Die genaue Berechnung des Wertes und die Definition von Ausreißern sind im allgemeinen Teil beschrieben. In den Daten gab es keine Ausreißer. Die Daten wurden in einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet. Als Ergebnis zeigte sich eine tendenzielle Interaktion der mittleren Differenz-IBI beim Folgefahren im ersten Streckenabschnitt (Geschwindigkeitsbeschränkungen) ($F(3,21) = 3, p = .055$). Wie Abbildung 4.17 zeigt, waren bei den antizipierbaren Bremsmanövern die Differenzen in der unassistierten Fahrt höher als mit Assistenz. Bei den unerwarteten Bremsmanövern waren die Differenzen in der unassistierten Fahrt jedoch niedriger als mit Assistenz. Während tendenziell in der leichten Aufgabe also das Folgefahren mit Assistenz beanspruchender war als ohne, war es bei der schwierigen Aufgabe beanspruchender wenn keine Assistenz zur Verfügung stand.

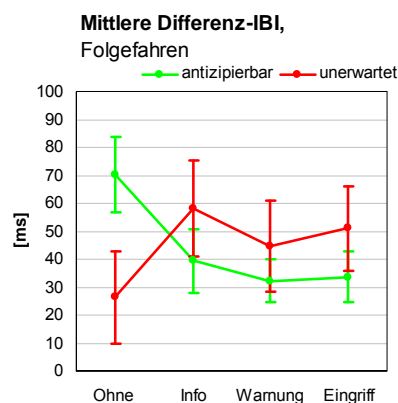


Abb. 4.17: Mittlere Differenz-IBI beim Folgefahren. Die Differenz-IBI errechneten sich aus der Differenz der Herzrate in der Versuchsbedingung und in der Ruhephase. Positive Werte weisen auf eine geringere Beanspruchung in der Versuchsbedingung gegenüber der Ruhephase hin.

In der Verzögerungsphase gab es keine Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen. In den Kreuzungssituationen des zweiten Streckenabschnitts traten weder beim Folgefahren noch beim Verzögern Herzratenunterschiede in den verschiedenen Assistenzbedingungen auf.

4.2.5 Akzeptanzbeurteilungen der Assistenzsysteme

In den Akzeptanzfragebögen bewerteten die Versuchspersonen die *Funktionalität*, *Gestaltung* und *Nützlichkeit* der Assistenzsysteme und ihre *Einstellung* gegenüber den Systemen. Die subjektiven Bewertungen zeigten, welche Systemmerkmale die Versuchspersonen schätzten bzw. welche Systemmerkmale störten und ergänzten daher die Erkenntnisse aus den anderen Datenquellen. Anhand der Fragen zur *Funktionalität* wurde die vom Assistenzsystem übernommene Aufgabe bewertet, also beispielsweise gefragt, ob der Assistent eher den Abstand, das Kollisionsrisiko oder im Fall des Tachos die Geschwindigkeit mitteilen sollte. Fragen zur *Gestaltung* ermöglichten eine Beurteilung der gestalterischen Umsetzung. Dies betraf zum Beispiel die gewählte Sinnesmodalität oder den Zeitpunkt der Assistenzaktivität. Die Fragen zur *Nützlichkeit* erfragten, wie nützlich das präsentierte Assistenzsystem für das Fahren war, wie sehr es zum Beispiel entlastete. Im vierten Teil wurde die *Einstellung* gegenüber den Systemen bewertet, ob das Fahren damit zum Beispiel Spaß machte. Vor der Anwendung statistischer Verfahren wurde die Verteilung der Daten auf Plausibilität der Antworten, Ausreißer bzw. Extremwerte und fehlende Werte analysiert. Eine Antwort war unplausibel, da die Versuchsperson ihr Antwortverhalten trotz umgepolter Skala beibehielt (VP 56, Item B9 in der Bedingung OL) und ein Wert fehlte (VP 674, Item C1 in der Bedingung IL). Beide Werte wurden mit Hilfe des Imputationsverfahrens ersetzt (Bingham, Stemmler, Petersen & Graber, 1998). Dieses Verfahren berücksichtigt sowohl das individuelle Wertenniveau (innerhalb der Fälle) als auch das Antwortverhalten aller VP (innerhalb des Items). Die Akzeptanzdaten wurden mithilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet. Die Reihenfolge, in der die Aufgabenschwierigkeit dargeboten wurde, wurde als Zwischensubjektfaktor berücksichtigt. Die Versuchspersonen füllten die Akzeptanzfragebögen direkt nach jeder Fahrt mit dem entsprechenden Assistenten aus. Um die Daten der 3 neuen Assistenzsysteme mit einem bereits bekannten System vergleichen zu können, wurden die Probanden gebeten, nach der unassitierten Fahrt den Tachometer zu bewerten. Dieser stellte mit der Anzeige der Geschwindigkeit eine vertraute Unterstützung der Längsführung dar und bot sich daher als Vergleichsmaßstab für die neuen Assistenten an. Neben den einzelnen Akzeptanzfragebögen verglichen die Probanden am Ende des Versuchstages in einem Vergleichsfragebogen die 3 neuen Assistenten hinsichtlich ihrer Funktionalität, Gestaltung und Nützlichkeit und in einem Gesamturteil. Sie gaben auch an, welches System sie kaufen würden und für welchen Preis. Der Vergleich erfolgte durch Vergabe von Platz 1 (beste Bewertung) bis 3 (schlechteste Bewertung). Unter allen Bewertungen ist bei 11 Bewertungen nur der erste Platz vergeben worden und nicht die Plätze 2 und 3. Um alle Versuchspersonen in die Auswertung einbeziehen zu können, wurde hier für die beiden anderen Assistenten jeweils Platz 2.5 vergeben. Die Vergleichsfragebögen wurden mit dem Friedman-Test ausgewertet. Im Folgenden werden alle signifikanten Ergebnisse und Trends ($p < .15$) der 4 Akzeptanzbereiche dargestellt. Jeder Bereich wird mit einer Gesamtbewertung eingeführt. Zum Schluss folgen die Ergebnisse des Vergleichsfragebogens.

Funktionalität

Tabelle 4.9 zeigt die signifikanten und tendenziell signifikanten Variablen zur Funktionalität.

Tab. 4.9: Variablen zur Akzeptanzbewertung der Funktionalität der Assistenzsysteme. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie finden Sie die hinter dieser Art von Fahrerassistenz stehende Idee?	.000	.605	.850
Was halten Sie davon, dass der Assistent Sie informiert bzw. warnt bzw. bremst?	.004	.132	.501
Wie finden Sie die Idee, abhängig von Ihrer Geschwindigkeit bzw. vom Abstand bzw. vom Kollisionsrisiko informiert bzw. gewarnt bzw. gebremst zu werden?	.004	.373	.793
Was halten Sie davon kontinuierlich bzw. zeitweise vom Assistenten unterstützt zu werden?	.009	.912	.950
Wie häufig haben Sie die Funktionen genutzt?	.277	.182	.086

Die *Gesamtbewertung* der Funktionalität („Wie finden Sie die hinter dieser Art von Fahrerassistenz stehende Idee?“) zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,21) = 8.9$, $p < .001$). Die Funktionalität des Info-Assistenten wurde insgesamt schlechter bewertet als die der anderen Assistenzfunktionen, während die von Brems-Assistent und Tacho am besten bewertet wurde. Haupteffekte der Assistenzfunktion zeigten sich auch in der Bewertung einzelner Funktionsaspekte. Die *Assistenzstrategie* („Was halten Sie davon, dass der Assistent sie informiert bzw. warnt bzw. eingreift?“) wurde für den Info-Assistenten am schlechtesten beurteilt ($F(3,21) = 5.9$, $p < .05$), genauso wie der *Assistenzinhalt* („Wie finden Sie die Idee, abhängig von Ihrer Geschwindigkeit bzw. vom Abstand bzw. vom Kollisionsrisiko informiert bzw. gewarnt bzw. gebremst zu werden?“) ($F(3,21) = 5.7$, $p < .05$). Ebenso wurde die *Unterstützungsdauer* („Was halten Sie davon, kontinuierlich bzw. zeitweise vom Assistenten unterstützt zu werden?“) des Info-Assistenten bemängelt ($F(3,21) = 8.6$, $p < .05$). Seine kontinuierliche Informationsweise wurde von allen Aspekten am wenigsten akzeptiert und mit „schlecht“ beurteilt. Der Brems-Assistent wurde von den 3 „neuen“ Assistenten in den genannten Funktionsaspekten Assistenzstrategie, Assistenzinhalt und Unterstützungsdauer am besten bewertet und war vergleichbar mit dem Tacho. Die Bewertungen des Warn-Assistenten in diesen Aspekten lagen leicht unter denen des Brems-Assistenten, unterschieden sich aber nicht signifikant. Die Funktionalität der Systeme wurde für die leichte und die schwierige Aufgabe gleich bewertet. In der letzten Frage gaben die Versuchspersonen an, wie häufig sie die Funktionen des Assistenten nutzten. Tendenziell wurden die Funktionen des jeweiligen Assistenten bei unerwarteten Bremsmanövern häufiger genutzt als bei den antizipierbaren ($F(1,7) = 3.9$, $p = .086$). Abbildung 4.18 zeigt die Gesamtbewertung der Funktionalität, die Bewertung der Unterstützungsdauer als negatives Merkmal des Info-Assistenten und die Nutzungshäufigkeit der Assistenten.

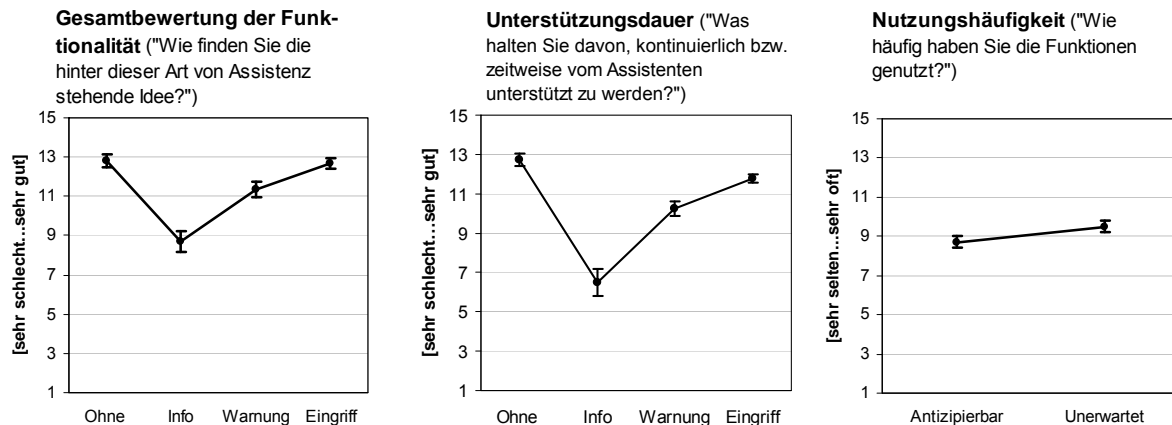


Abb. 4.18: Akzeptanzbewertung der Funktionalität: Gesamturteil (links), Bewertung der Unterstützungsdauer (Mitte) und der Nutzungshäufigkeit (rechts). Eine Bewertung mit 15 stellt die beste Beurteilung dar.

Gestaltung

Tabelle 4.10 zeigt die signifikanten und tendenziell signifikanten Variablen zur Bewertung der Gestaltung.

Tab. 4.10: Variablen zur Akzeptanzbewertung der Gestaltung der Assistenzsysteme. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?	.001	.942	.461
Wie finden Sie den Zeitpunkt, zu dem der Assistent anfängt?	.000	.150	.394
Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen?	.113	.435	.171
Wie finden Sie es, dass die Information bzw. Warnung visuell bzw. visuell und auditiv dargeboten wird?	.001	.853	.687
Wie verständlich ist die Information bzw. Warnung dargestellt bzw. ist das Verhalten des Assistenten?	.044	.715	.525
Wie finden Sie die Darstellung mittels Zeiger auf Skalenscheibe bzw. mit Auto-Symbolen?	.000	.224	.852
Wie bewerten Sie die Erlernbarkeit des Assistenten?	.003	.749	.752
Wie schwierig finden Sie es, den Assistenten zu benutzen?	.073	.618	.101
Wie finden Sie die Abstufungen der Information bzw. der Warnung bzw. des Eingriffs?	.096	.874	.022
Wie finden Sie den Bremsverlauf beim Abbremsen (nur Brems-Assistent)?	Irr.	Irr.	.013

Die Gesamtbewertung der Gestaltung („Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?“) zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,21) = 7.8$, $p < .05$). Die *Gestaltung insgesamt* wurde beim Info-Assistenten für beide Aufgabenschwierigkeiten am schlechtesten beurteilt. Brems-Assistent und Tacho wurden insgesamt am besten gestaltet wahrgenom-

men. Eine Reihe von Gestaltungsaspekten zeigten Haupteffekte der Assistenzfunktion und wurden für den Info-Assistenten am schlechtesten bewertet. Dazu zählten der *Aktivitätsbeginn* („Wie finden Sie den Zeitpunkt, zu dem der Assistent anfängt?“), der als „zu früh“ bewertet wurde, während die anderen Assistenten zum richtigen Zeitpunkt begannen ($F(2,14) = 12.06$, $p < .001$). Die *Informationsmenge* („Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen?“) wurde tendenziell unterschiedlich zwischen den Assistenten beurteilt ($F(3,21) = 2.2$, $p = .113$). Während die anderen Assistenten die optimale Informationsmenge lieferten, wurde dem Info-Assistenten eher eine zu hohe Informationsmenge attestiert. Dann gab es einige Gestaltungsmerkmale, in denen der Info-Assistent zwar schlechter als die anderen Assistenten abschnitt, aber im mittleren oder guten Skalenbereich lag. Dazu zählte die Bewertung des gewählten *Sinneskanals* („Wie finden Sie es, dass die Information bzw. Warnung visuell bzw. visuell und auditiv dargeboten wird?“) ($F(2,14) = 10.2$, $p < .05$). Dazu zählte außerdem die *Verständlichkeit* des Assistenten („Wie verständlich ist die Information bzw. Warnung dargestellt bzw. ist das Verhalten des Assistenten?“). Abbildung 4.19 zeigt die Gesamtbewertung der Gestaltung und die Bewertung von Informationsmenge und Aktivitätsbeginn, worin der Info-Assistent im Vergleich zu den anderen Assistenten und absolut ungünstig abschnitt.

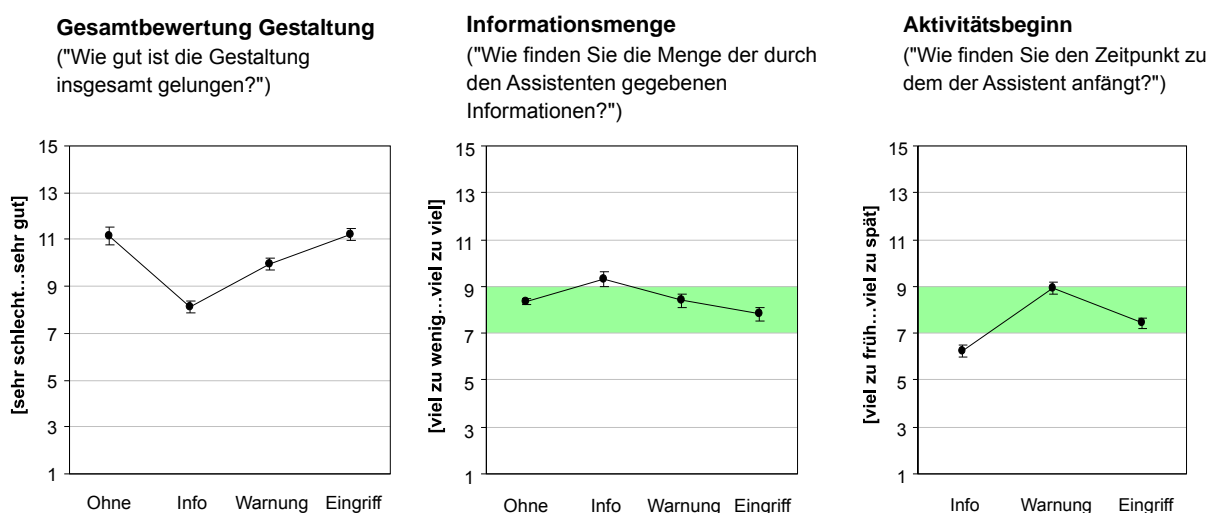


Abb. 4.19: Akzeptanzbewertung der Gestaltung. Gesamturteil (links) und Bewertung der Informationsmenge (Mitte) und des Unterstützungszeitpunktes (rechts). In der Gesamtbewertung stellt eine Bewertung mit 15 die beste Beurteilung dar. In der Beurteilung von Informationsmenge und Unterstützungszeitpunkt liegt die beste Bewertung im mittleren Skalenbereich (grün unterlegt).

Die *Benutzung* des Warn-Assistenten wurde von den Versuchspersonen tendenziell als am schwierigsten empfunden („Wie schwierig finden Sie es, den Assistenten zu benutzen?“) ($F(3,21) = 2.6$, $p = .073$). In einigen Gestaltungsaspekten wurde der Tachometer gegenüber allen anderen Systemen bevorzugt. So wurde die *Darstellung* des Tacho („Wie finden Sie die Darstellung mittels Zeiger auf Skalenscheibe bzw. mit Auto-Symbolen?“) besser bewertet ($F(2,14) = 18.8$, $p < .001$), ebenso wie seine *Erlernbarkeit* („Wie bewerten Sie die Erlernbarkeit des Assistenten?“) ($F(3,21) = 6.2$, $p < .05$). In beiden Aspekten lagen die Bewertungen der anderen Assistenten jedoch auch im mittleren oder oberen Skalenbereich. Die Darstellungsbewertung hing auch von der Reihenfolge ab, in der die Aufgaben erledigt wurden und wurde besser bewertet wenn die Versuchspersonen mit den antizipierbaren Bremsmanövern begannen. Die Bewertungen der *Anzeigestufen* („Wie finden Sie die Abstufungen der Infor-

mation bzw. der Warnung bzw. des Eingriffs?“) unterschied sich ebenfalls tendenziell ($F(1.6, 11.8) = 2.9, p = .0.96$). Die Abstufungen des Warn-Assistenten wurden dabei präferiert, aber alle Assistenten lagen im optimalen Wertebereich. Die Bewertung vom *Bremsverlauf* des Brems-Assistenten („Wie finden Sie den Bremsverlauf beim Abbremsen?“) richtete sich nach den Aufgabenanforderungen ($F(1,7) = 10.8, p < .05$) und wurde für die unerwarteten Bremsmanöver eher als zu hart empfunden.

Nützlichkeit

Tabelle 4.11 zeigt die signifikanten und tendenziell signifikanten Variablen zur Bewertung der Nützlichkeit.

Tab. 4.11: Variablen zur Akzeptanzbewertung der Nützlichkeit der Assistenzsysteme. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie nützlich ist der Assistent insgesamt?	.000	.402	.413
Wie sehr hat Sie der Assistent beim Fahren in schwierigen Situationen entlastet?	.003	.113	.753
Wie sehr hat Sie der Assistent bei der Fahrt abgelenkt?	.111	.378	.361
Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert?	.034	.704	.121
Wie hindert Sie der Assistent daran, so zu fahren, wie Sie es gerne mögen?	.017	.453	.190
Wie sehr hat Ihnen das Assistenzsystem beim Fahren geholfen?	.006	.571	.533
Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten?	.006	.341	.757

Die *Gesamtbewertung der Nützlichkeit* („Wie nützlich ist der Assistent insgesamt?“) unterschied sich signifikant zwischen den Assistenzbedingungen ($F(3,21) = 12.1, p < .001$). Brems-Assistent und Tacho wurden als nützlichste Systeme bewertet. Der Info-Assistent wurde insgesamt am wenigsten nützlich empfunden. Von den einzelnen Nützlichkeitsaspekten zeigte die *Entlastung* („Wie sehr hat Sie der Assistent beim Fahren in schwierigen Situationen entlastet?“) einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(1.8, 13.2) = 9.1, p < .05$) und eine tendenzielle Interaktion ($F(3,21) = 2.2, p = .11$). Der Brems-Assistent entlastete stärker als der Tacho und alle anderen Assistenten. Die Wahrnehmung der Entlastung stellte somit einen wesentlichen Unterschied zwischen den Fahrten mit Brems-Assistent und den unassistierten Fahrten dar. Tacho und Info-Assistent entlasteten sehr wenig, wobei der Tacho gerade bei unerwarteten Bremsmanövern wenig entlastete. Die *Ablenkung* als weiterer Nützlichkeitsaspekt („Wie sehr hat Sie der Assistent bei der Fahrt abgelenkt?“) unterschied sich tendenziell zwischen den Assistenten ($F(3,21) = 2.2, p = .11$). Der Brems-Assistent lenkte am wenigsten ab, der Info-Assistent am stärksten, was aufgrund der visuellen Darstellung und seiner kontinuierlichen Präsenz zu erwarten war. Die Gesamtbewertung und die Bewertungen von Entlastung und Ablenkung sind in Abbildung 4.20 dargestellt und zeigen die Stärken des Eingriffs.

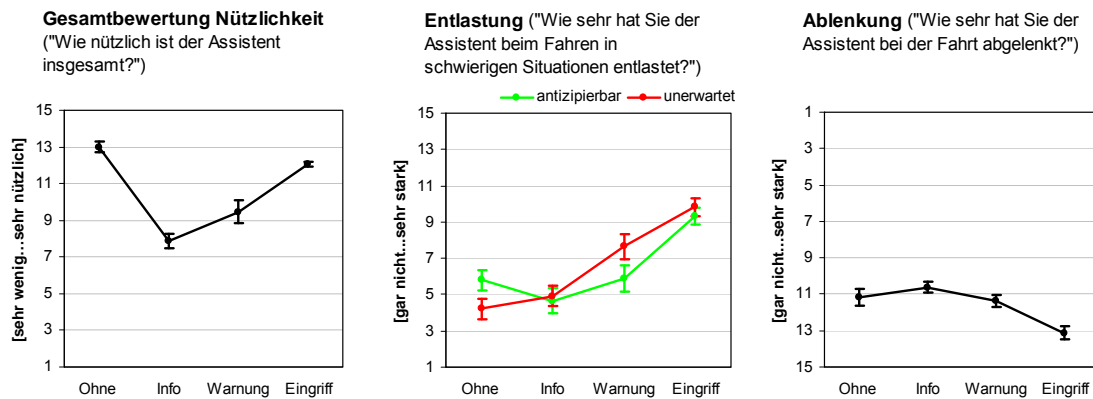


Abb. 4.20: Akzeptanzbewertungen zur Nützlichkeit. Dargestellt sind die Bewertung insgesamt (links), der Entlastung (Mitte) und Ablenkung (rechts). Eine Bewertung mit 15 stellte die beste Beurteilung dar.

Die *Beibehaltung der Kontrolle* als weiterer Nützlichkeitsaspekt („Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert?“) wurde ebenfalls unterschiedlich je nach Assistenz beurteilt ($F(3,21) = 3.4, p < .05$). Der Brems-Assistent reduzierte die Kontrolle des Fahrers stärker als der Tacho oder die beiden anderen Assistenten. Auch gab es Unterschiede der Assistenten, inwieweit sie den Fahrer daran *hinderten*, so zu fahren, wie er möchte („Wie hindert Sie der Assistent daran, so zu fahren, wie Sie es gerne mögen?“) ($F(3,21) = 6.5, p < .05$). Der Brems-Assistent schränkte am stärksten ein, der Info-Assistent am wenigsten. Beurteilungen von Kontrolle und Einengung als Nachteile des Brems-Assistenten sind in Abbildung 4.21 dargestellt.

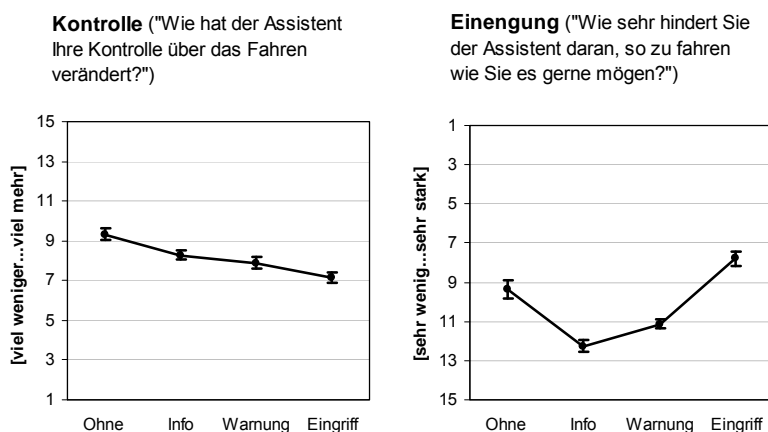


Abb. 4.21: Akzeptanzbewertungen zur Nützlichkeit. Dargestellt sind Kontrolle (links) und Einengung (rechts). Eine Bewertung mit 15 stellte die beste Beurteilung dar.

Die Assistenten wurden außerdem hinsichtlich ihrer *fahrverbessernden Eigenschaft* („Wie sehr hat Ihnen das Assistenzsystem beim Fahren geholfen?“) unterschiedlich beurteilt ($F(3,21) = 5.4, p < .05$). Das *Vertrauen* in die Assistenzsysteme („Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten?“) war ebenfalls je nach System unterschiedlich ($F(1.4, 10.4) = 9.7, p < .05$). Der Tacho wurde am hilfreichsten für das Fahren und am vertrauenswürdigsten beurteilt.

Einstellung

Tabelle 4.12 zeigt die signifikanten und tendenziell signifikanten Variablen zur Bewertung der Einstellung.

Tab. 4.12: Variablen zur Akzeptanzbewertung der Einstellung gegenüber den Assistenzsystemen. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Insgesamt ist die Idee, den Assistenten zu nutzen....	.000	.405	.458
Wie gerne möchten Sie ein Auto mit dem Assistenten fahren?	.000	.508	.980
Wie viel Spaß machte es, mit dem Assistenten zu fahren?	.013	.572	.180
Wie angenehm ist es, mit dem Assistenten zu fahren?	.043	.212	.561

Die Versuchspersonen entwickelten eine unterschiedliche *Einstellung* („Insgesamt ist die Idee, den Assistenten zu nutzen....“) gegenüber den Assistenten ($F(3,21) = 8$, $p < .001$). Die Nutzung des Tacho wurde am sinnvollsten beurteilt und die des Info-Assistenten als am wenigsten sinnvoll, lag aber im mittleren Bereich. In den einzelnen Einstellungsaspekten gab es ebenfalls Unterschiede. Die Einstellung gegenüber dem Tacho war in allen Aspekten am besten. Der Wunsch, ein Fahrzeug mit dem jeweiligen Assistenten zu *besitzen* („Wie gerne möchten Sie ein Auto mit dem Assistenten fahren?“) war beim Info-Assistenten signifikant geringer ausgeprägt als bei den anderen Assistenten ($F(3,21) = 10.5$, $p < .001$). Der Info-Assistent bereitete außerdem wenig *Spaß* ($F(3,21) = 4.5$, $p < .05$) und war weniger *angenehm* ($F(3,21) = 3.2$, $p < .05$) als die anderen Assistenten. Abbildung 4.22 zeigt die Gesamtbewertung zur Einstellung und den Besitzwunsch, da er das schlechteste Einstellungsurteil des Info-Assistenten aufwies.

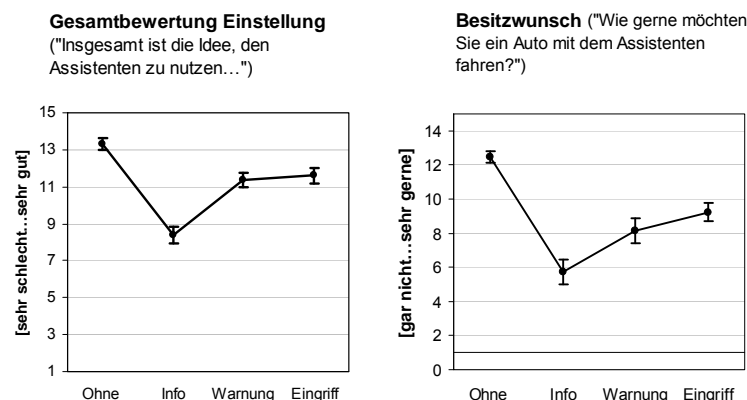


Abb. 4.22: Akzeptanzbewertungen zur Einstellung. Dargestellt sind die Gesamtbewertung und der Besitzwunsch. Eine Bewertung mit 15 stellt die beste Beurteilung dar.

Vergleichsfragebogen

In den Vergleichsfragebögen verglichen die Versuchspersonen die 3 neu entwickelten Assistenzkonzepte miteinander, indem sie für Funktionalität, Gestaltung, Nützlichkeit und ein Gesamturteil Plätze von 1 bis 3 vergaben. Außerdem nannten sie einen Preis, zu dem sie das Assistenzsystem erwerben würden. Die Platzvergabe erfolgte jeweils für die leichte und die schwierige Aufgabe. Für unerwartete Bremsmanöver wurde der Brems-Assistent am nützlichsten empfunden ($X^2(2) = 6.3$, $p < .05$) und im Gesamturteil favorisiert ($X^2(2) = 6.3$, $p < .05$). Die Versuchspersonen wollten für ihn den höchsten Preis bezahlen ($X^2(2) = 6.4$, $p < .05$). Im Durchschnitt waren sie bereit, für den Brems-Assistenten 1216 Euro auszugeben – gegenüber 816 Euro für den Warn-Assistenten oder 366 Euro für den Info-Assistenten. Der Info-Assistent wurde insbesondere in seiner Funktionalität in der schwierigen Aufgabe schlecht platziert ($X^2(2) = 7.2$, $p < .05$), während Brems-Assistent und Warn-Assistent gleich bewertet wurden. Der Warn-Assistent wurde tendenziell am besten in Bezug auf die Gestaltung bewertet ($X^2(2) = 5.8$, $p < .1$). Abbildung 4.23 zeigt die Favorisierung des Brems-Assistenten in Bezug auf Nützlichkeit und im Gesamturteil und die schlechte Bewertung des Info-Assistenten hinsichtlich der Funktionalität.

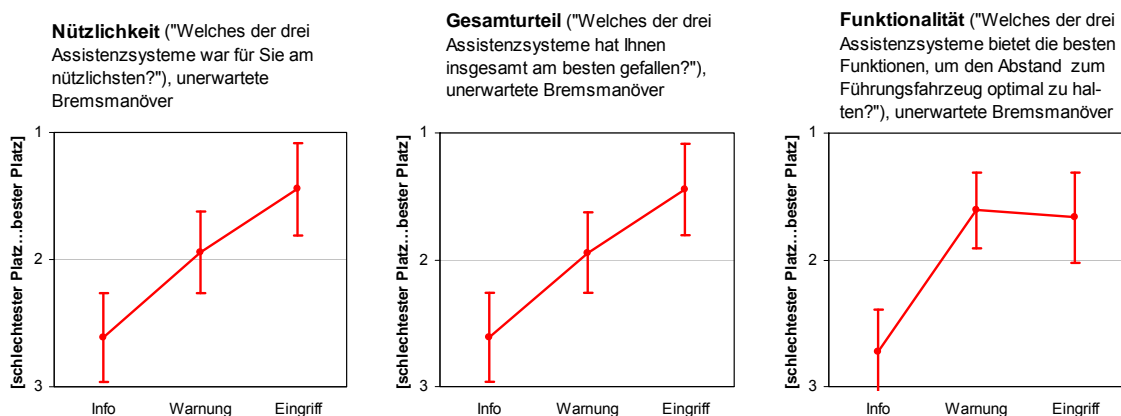


Abb. 4.23: Vergleichende Bewertung der Assistenten in Bezug auf Nützlichkeit, Gesamturteil und Funktionalität. Nach leichter und schwieriger Aufgabe wurden die Assistenten jeweils miteinander verglichen indem Plätze von 1 (beste Bewertung) bis 3 vergeben wurden. Dargestellt sind die Bewertungen für die schwierige Aufgabe.

Zusammengefasst wurde der Brems-Assistenten in den meisten Aspekten auf dem Niveau des Tacho oder besser beurteilt. Seine Vorteile lagen vor allem im Bereich der Nützlichkeit, da er mehr Entlastung verschaffte und weniger ablenkte als der Tacho. Für die Lösung der Fahraufgabe wurde daher der Eingriff als geeigneter wahrgenommen als der Tacho. Allerdings nahm der Eingriff auch dem Fahrer die meiste Kontrolle und schränkte ihn am stärksten ein. Der Tacho wurde in den meisten Aspekten auf dem Niveau des Brems-Assistenten beurteilt. Höhere Akzeptanz erfuhr er in Bezug auf seine Erlernbarkeit und seine Darstellung in Form einer Skalenscheibe. Die Probanden vertrauten ihm am meisten. Der Info-Assistent wurde in allen 4 Akzeptanzbereichen am wenigsten akzeptiert. Vor allem wurde bemängelt, dass er als Assistenzstrategie Information lieferte, dass er über den Abstand informierte und dieses kontinuierlich tat. Die Probanden bemängelten außerdem den frühen Unterstützungsbeginn und die Informationsmenge. Sie nahmen den Info-Assistenten als ablenkend und wenig entlastend wahr. Entsprechend waren der Wunsch, den Info-Assistenten zu besitzen, und der Fahrspaß gering. Dafür entzog er allerdings dem Fahrer keine Kontrolle und hinderte ihn nicht an der Umsetzung seines Fahrstils. Der Warn-Assistenten wurde in den meisten

Aspekten nur leicht schlechter als der Brems-Assistent beurteilt, es gab aber auch kein Merkmal, in dem er den anderen Assistenten überlegen war. Entsprechend zu den Einzelurteilen wurde im Vergleich der Assistenten der Brems-Assistent insbesondere wegen seiner Nützlichkeit favorisiert. Der Info-Assistent landete in allen Bewertungen auf dem letzten Platz.

4.3 Diskussion

Nach einer Beschreibung der Fragestellung werden die Versuchsergebnisse hinsichtlich der wahrgenommenen Anforderungen, des Fahrverhaltens, der Beanspruchung und der Akzeptanz der Assistenzsysteme kurz zusammengefasst. Danach wird die Wirkung der einzelnen Assistenzsysteme bei der Bewältigung der dargebotenen Fahraufgabe beschrieben, um dadurch die Frage nach der geeigneten Unterstützungsform zu beantworten.

Die Versuchspersonen hatten in diesem Versuch die Aufgabe, einem Fahrzeug zu folgen und auf dessen Bremsmanöver zu reagieren. Diese Bremsmanöver waren für die Probanden entweder antizipierbar oder geschahen unerwartet. Die unerwarteten Bremsmanöver sollten den Fahrern die Planung des eigenen Fahrverhaltens und die Entscheidung über die adäquate Handlung erschweren. Eine weitere Variation der Anforderungen bestand aufgrund unterschiedlich starker Verzögerungen des Führungsfahrzeugs im Bereich der Handlungsausführung, war jedoch aufgrund des geringen Unterschieds der Verzögerungswerte von untergeordneter Bedeutung. Unterstützung erhielten die Fahrer durch einen Info-, Warn- oder Brems-Assistenten oder sie fuhren unassistent. Der Warn-Assistent unterstützte die Planung des Fahrers bezüglich seines Bremsverhaltens, so dass dessen Assistenzfunktion am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt war. Als Ziel der Studie sollte ermittelt werden, welche Assistenzfunktion die beste Unterstützung bei Anforderungen im Bereich der Handlungsplanung darstellte. Anhand der Wirkung des Warn-Assistenten sollte es außerdem zur Klärung der Gesamtfragestellung beitragen, ob eine Abstimmung der Assistenzfunktion mit den Aufgabenanforderungen sinnvoll ist.

Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Aufgabenanforderungen der leichten und schwierigen Aufgabe vor allem in den zeitlichen und tendenziell in den körperlichen Anforderungen unterschieden. Aus Sicht der Probanden musste in der schwierigen Aufgabe schneller und mit stärkerem physischen Einsatz reagiert werden als in der leichten Aufgabe. Die Probanden nahmen hingegen keine höheren mentalen Anforderungen wahr. Ein unerwartetes Bremsereignis erforderte also vor allem Handeln unter Zeitdruck, während ein höheres Maß an Aufmerksamkeit nicht erforderlich war. Die wesentliche Aufgabenanforderung – das zügige Handeln – war auch diejenige Aufgabenanforderung, in der die Assistenten unterschiedlich unterstützend wahrgenommen wurden. Die Versuchspersonen meinten, mit dem Brems-Assistenten nicht so schnell reagieren zu müssen und weniger häufig etwas tun zu müssen als bei der Fahrt ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten. Körperliche und mentale Anforderungen waren durch den Eingriff tendenziell reduziert.

Das Fahrverhalten wurde je nach Teilaufgabe von unterschiedlichen Assistenzsystemen am besten unterstützt. Beim Folgefahren mussten die Probanden über längere Zeit einen sicheren Abstand zum Führungsfahrzeug halten. Der Info-Assistent unterstützte dabei am besten, da die Probanden mit ihm am ehesten kleine Abstände zum Führungsfahrzeug vermeiden konnten. Sie hielten mit ihm entweder mehr Abstand als mit den anderen Assistenten oder sie konnten – wenn dieses wie in der schwierigen Aufgabe nicht möglich war – einen gerin-

gen Abstand stabiler halten. Warn-Assistent und Eingriff boten wenig Unterstützung beim Folgefahren, die Fahrer zeigten mit beiden Assistenten sogar ein riskanteres Verhalten als ohne Assistenz indem sie später begannen zu bremsen.

In der Verzögerungsphase bremste das Führungsfahrzeug überraschend oder antizipierbar und die Probanden mussten ihre eigene Geschwindigkeit an dieses Verhalten anpassen. In dieser Phase unterstützte der Brems-Assistent das Fahrverhalten am besten. Mit ihm traten kritische TTC seltener auf und waren von kürzerer Dauer im Vergleich zu den anderen Assistenten oder der unassistenten Fahrt. In kritischen Situationen bremste der Brems-Assistent zügiger als der Fahrer und beförderte dadurch das Fahrzeug schneller wieder aus dem Gefahrenbereich als bei manueller Fahrweise oder in den anderen Assistenzbedingungen. Im Vorfeld kritischer Situationen verzögerte der Eingriff das Fahrzeug bereits durch seinen Bremsruck, so dass die Gefahrensituation erst später eintrat. Die minimale TTC war jedoch mit dem Brems-Assistenten nicht höher als mit den anderen Assistenten. Der Info-Assistent und der Warn-Assistent gaben kaum Unterstützung in der Verzögerungsphase. Ihre Nutzung war mit längeren Phasen niedriger TTC-Werte verbunden als bei den unassistenten Fahrten. Kritische TTC-Werte wurden mit beiden Assistenten schneller erreicht und es dauerte länger bis sie wieder unkritisch wurden. Mit beiden Assistenten begannen die Fahrer mit dem Bremsen genauso spät wie in der manuellen Fahrt und bremsten genauso langsam. Die Fahrer konnten also durch die Nutzung des Info- und Warn-Assistenten nicht zügiger bremsen als ohne Assistenz. Der Warn-Assistent führte außerdem noch dazu, dass die Versuchspersonen dem Führungsfahrzeug am längsten dicht auffuhren. Möglicherweise lag das daran, weil sie mit dem Warn-Assistenten bereits zum Bremsbeginn einen geringen Abstand hatten.

Unterschiede in der physiologischen Beanspruchung traten beim Folgefahren je nach Unterstützung auf. War das Bremsmanöver antizipierbar, so waren die Versuchspersonen ohne Assistenz weniger beansprucht als mit Assistenz. Geschah das Bremsmanöver jedoch unerwartet, so waren sie umgekehrt mit Assistenz weniger beansprucht als ohne Assistenz. In der Verzögerungsphase gab es keine Beanspruchungsunterschiede. Möglicherweise war das Folgefahren deshalb beanspruchend, weil unklar war, wann das Führungsfahrzeug bremste. Deswegen wirkte dann jede Form von Unterstützung entlastend. War umgekehrt der Zeitpunkt absehbar, zu dem das Führungsfahrzeug bremste, so stellt vielleicht jede Unterstützung eine zusätzliche Belastung dar und man fuhr lieber ohne Assistenz.

Die Akzeptanzbewertungen fielen in allen 4 Kategorien beim Eingriff im Vergleich zum Info- oder Warn-Assistenten am besten aus. Sie lagen in fast allen Punkten dem Niveau des Tachometer, der als Vergleichsmaßstab diente und nach der unassistenten Fahrt bewertet wurde. Der Tacho wurde nur hinsichtlich seiner Erlernbarkeit, der Darstellung in Form der Skalenscheibe und dem Vertrauen besser als der Brems-Assistent bewertet. Diese Bewertungen sind wahrscheinlich auf die hohe Vertrautheit mit dem Tacho zurückzuführen und nicht als Schwäche des Brems-Assistenten zu verstehen. In einigen Punkten wurde der Brems-Assistent besser bewertet als der Tacho. Er entlastete stärker beim Fahren und lenkte weniger ab. Somit wurde der Eingriff als das Assistenzsystem wahrgenommen, das am meisten bei der Bewältigung der eigentlichen Fahraufgabe half. Der Info-Assistent wurde generell am schlechtesten beurteilt und verdeutlicht, welche Assistenzmerkmale für diese Fahraufgabe besonders nachteilig waren. So wurde keine Unterstützung gewünscht, die kontinuierlich aktiv war, die lediglich informierte und dieses in Abhängigkeit vom Abstand

zum anderen Fahrzeug. Stattdessen wünschten sich die Fahrer eine nur zeitweise Assistenzaktivität, einen Eingriff und diesen in Abhängigkeit vom Kollisionsrisiko. In der Ausgestaltung durfte die Unterstützung nicht zu früh aktiv sein und nicht zu viel Information übermitteln. Diese Anforderungen erfüllte der Brems-Assistent und war daher am nützlichsten für die Fahraufgabe. Die Vorteile dieses hohen Unterstützungsgrades wurden allerdings mit weniger eigener Kontrolle über das Fahren und Einengung des eigenen Fahrstils erkauft.

Fasst man die Ergebnisse für die einzelnen Assistenzsysteme zusammen, so zeigt sich der jeweilige Nutzen der Assistenzfunktionen für die Bewältigung der Fahraufgabe, wobei hier das Annäherungsmanöver als wesentliche Fahraufgabe im Mittelpunkt steht. Das unvermittelte Bremsen des Führungsfahrzeugs verhinderte eine frühzeitige Handlungsplanung des Fahrers und wurde von den Fahrern vor allem als Anforderung wahrgenommen, zügig zu reagieren.

Der Info-Assistent erleichterte die Anforderungen aus Sicht der Versuchspersonen nicht, er konnte das Fahrverhalten gegenüber der unassistierten Fahrt nicht verbessern und wurde auch nicht akzeptiert.

Der Warn-Assistent wurde zwar in den Akzeptanzurteilen etwas besser bewertet als der Info-Assistent, zeigte aber ebenfalls keine entlastende Wirkung und keine positive Wirkung auf das Fahrverhalten. Mit beiden Assistenten konnten die Fahrer auf das plötzliche Abbremsen des Führungsfahrzeugs genauso spät reagieren wie bei unassistierter Fahrt und bremsen ebenso langsam. Dadurch wurden die Situationen ähnlich früh kritisch wie bei unassistierter Fahrt und für eine vergleichbare Dauer.

Der Brems-Assistent konnte die dargebotene Fahraufgabe am besten unterstützen. Er reduzierte in der Wahrnehmung der Probanden die zeitlichen Anforderungen der Fahraufgabe, reduzierte das Auftreten und die Dauer niedriger TTC und ermöglichte ein frühes und zeitnahes Verzögern des Fahrzeugs. In den Akzeptanzbewertungen wurde er ebenfalls am besten bewertet.

Insgesamt stellte also bei den bestehenden Anforderungen im Bereich der Handlungsplanung ein Eingriff die wirksamste Unterstützung dar. Zeit schien in dieser Situation der entscheidende Faktor zu sein und ein handlungsübernehmendes System konnte unabhängig von den Reaktionszeiten des Fahrers schnell reagieren. Die Handlungsübernahme war allerdings damit verbunden, dass der Fahrer weniger Kontrolle behielt und im eigenen Fahrstil eingeengt wurde.

5 Längsführung bei erschwerter Informationsaufnahme: Studie 2

In dieser Studie hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, bei guter Sicht oder bei Nebel einer Landstraße zu folgen und näherten sich dabei wiederholt Fahrzeugen in ihrer Spur an. Wie im Theorieteil beschrieben, erschwert Nebel aufgrund reduzierter Kontraste die Wahrnehmung visueller Reize und Fahrer können dadurch Fahrzeugumrisse oder Annäherungen an ein Führungsfahrzeug deutlich später wahrnehmen als bei guter Sicht. Das Fahren bei Nebel stellte daher eine Möglichkeit dar, die Aufgabenanforderungen im Bereich der Informationsaufnahme zu variieren. Diese Variation der Aufgabenanforderungen stellte die erste unabhängige Variable der Studie dar. In der leichten Bedingung bei guter Sicht konnten die Fahrer bereits aus großer Entfernung erkennen, dass sie sich einem Fahrzeug annähern. Bei Nebel konnten die Fahrer hingegen erst bei Erreichen der Sichtweite das Führungsfahrzeug erkennen.

Unterstützung erhielten die Probanden bei jeder Fahrt alternativ durch einen Info-, Warn-, oder Brems-Assistenten bzw. wurden nicht unterstützt. Der Info-Assistent sollte die Wahrnehmung eines anderen Fahrzeugs und der Distanz zu diesem erleichtern. Da der Info-Assistent die in der vorliegenden Studie erschwerte Informationsaufnahme am besten unterstützte, war er am besten mit den Anforderungen abgestimmt. Der Warn-Assistent unterstützte die Fahrer bei der Entscheidung zu bremsen und sollte dadurch die Handlungsplanung erleichtern. Der Brems-Assistent griff bei akuter Kollisionsgefahr ein und sollte die Handlungsplanung unterstützen. Die Variation der Assistenzfunktion stellte die zweite unabhängige Variable in der Studie dar und war mit Berücksichtigung der unassistierten Bedingung vierfach gestuft.

Als Ziel der Studie sollte ermittelt werden, welche Assistenzfunktion bei Anforderungen im Bereich der Informationsaufnahme im Rahmen der Längsführung die beste Unterstützung bot. Die Ergebnisse sollten dadurch zur Klärung der Fragestellung beitragen, ob die mit den Aufgabenanforderungen abgestimmte Assistenzfunktion zur optimalen Unterstützung des Fahrers führte.

5.1 Methode

5.1.1 Aufgabe

Die Versuchspersonen fuhren auf einer geraden Landstraße. In der leichten Aufgabenbedingung war die Sicht gut (siehe Abbildung 5.1, links), in der schwierigen Bedingung gab es Nebel mit einer Sichtweite von etwa 55 m (siehe Abbildung 5.1, rechts). In beiden Bedingungen sollten die Versuchspersonen einerseits sicher und unfallfrei und andererseits so zügig wie möglich fahren. Sie konnten die Geschwindigkeit aber selbst wählen. Stets sollten Geschwindigkeitsbeschränkungen (100 km/h) eingehalten werden und es durfte nicht überholt werden. Pro Strecke befand sich zehnmal ein Fahrzeug auf der Strecke, das mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h fuhr und dem sich die Probanden annähernten. Dieses Fahrzeug war bei guter Sicht weithin sichtbar, bei Nebel jedoch erst bei einer Distanz von 55 m (Sichtweite). Jedes Führungsfahrzeug verließ die Fahrbahn nach 20 Sekunden, indem es auf den Grünstreifen oder in eine Parkbucht fuhr. In der schwierigen Bedingung sollte eine zu geringe Geschwindigkeitswahl durch die Fahrer vermieden werden, indem sie durch die Instruktion unter Zeitdruck gesetzt wurden und ihre Fahrtdauer gemessen und am Ende des Versuchstages im Vergleich zu allen Probanden mitgeteilt wurde. Ein drängelndes Fahrzeug hinter ihnen sollte die Probanden ebenfalls zu einer zügigen Fortbewegung animieren.



Abb: 5.1: Variation der Aufgabenanforderungen durch unterschiedlich gute Sichtbedingungen. In der leichten Aufgabe (links) war das Führungsfahrzeug weithin sichtbar, in der schwierigen Aufgabe (rechts) erst bei einer Distanz von 55 m.

5.1.2 Assistenzsysteme

Mit Ausnahme der unassistierten Fahrt wurden die Probanden bei jeder Fahrt durch eines von 3 Assistenzsystemen unterstützt. Die Assistenzsysteme unterschieden sich vor allem in ihrer Funktion, indem sie den Fahrer entweder durch Information, Warnung oder Eingriff unterstützten. Die Unterstützung erfolgte beim Info-Assistenten kontinuierlich, während Warn-Assistent und Brems-Assistent einmalig aktiv wurden. Die Erkenntnisse des ersten Längsführungsversuchs über die Akzeptanz und Wirkungen der Assistenzsysteme wurden bei der Assistenzsystemgestaltung berücksichtigt und die Systeme in Vorversuchen hinsichtlich der zeitlichen Kopplung an den neuen Versuchsaufbau angepasst und getestet. Neben der Funktionalität unterschieden sich die Assistenten außerdem in ihrem Unterstützungsbeginn, der Unterstützungsdauer und den verwendeten sensorischen Kanälen.

Info-Assistent

Der Info-Assistent sollte wie im vorigen Versuch zur Längsführung die Wahrnehmung des Fahrers unterstützen, indem er die für die Fahrhandlung relevanten Merkmale der Situation darstellte. Passend zur Fahraufgabe, sich langsamen Fahrzeugen anzunähern, stellte der Abstand zum Führungsfahrzeug die relevante Information dar, auf die der Assistent durch seine Anzeige aufmerksam machte. Wie im vorigen Versuch stellte der Info-Assistent damit die niedrigste Automatisierungsstufe dar und sowohl Entscheidung als auch Handlungsausführung verblieben beim Fahrer. Die Anzeige erfolgte wieder über ein Head-up Display. Anhand der Bewertungen der Probanden aus dem vorigen Versuch erfolgte jedoch eine Überarbeitung der Darstellung. Das Head-up Display wurde nicht mehr in der Blickachse des Fahrers nach vorne, sondern am rechten Fahrbahnrand platziert, wodurch die Kritik an der mit einem Info-Assistenten verbundenen kontinuierlichen Informationsgabe reduziert werden sollte. Eine weitere Modifikation bestand in der Darstellung der Abstandsänderungen. Im Unterschied zur dreistufigen Darstellung eines Fahrzeugsymbols im ersten Versuch wurden Abstandsänderungen nun durch die Veränderung der Distanz zwischen zwei Fahrzeugen verdeutlicht. Diese direktere Darstellung der relevanten Information sollte die Wahrnehmung erleichtern und dadurch die Ablenkung durch den Assistenten reduzieren. Die Darstellung der Fahrbahn im Head-up Display erfolgte in der Aufsicht. Am unteren Rand des Displays wurde kontinuierlich das eigene Fahrzeug (Abbildung 5.2, links) angezeigt. Näherte sich der Fahrer einem Fahrzeug in seinem Fahrschlauch auf einen Sekundenabstand (THW) von 6 Sekunden und weniger an, so erschien dieses Fahrzeug ebenfalls im Display (Abbildung 5.2, Mitte). Abstandsänderungen wurden mit einer Auflösung von 0.5 Sekunden dargestellt. So-

bald das vorausfahrende Fahrzeug beim Verlassen der Fahrbahn den eigenen Fahrschlauch verlassen hatte, wurde es nicht mehr angezeigt. Das Head-up Display wurde dem Fahrer kontinuierlich präsentiert, so dass er immer eine Information darüber hatte, ob und in welchem Abstand sich Fahrzeuge vor ihm befanden oder nicht. Zusammengefasst hatte der Info-Assistent die Funktion, den Fahrer über die für die eigene Längsführung relevanten Führungsfahrzeuge und Abstandsänderungen zu diesen Fahrzeugen zu informieren. Die Information begann frühzeitig, dauerte kontinuierlich an und erfolgte visuell.

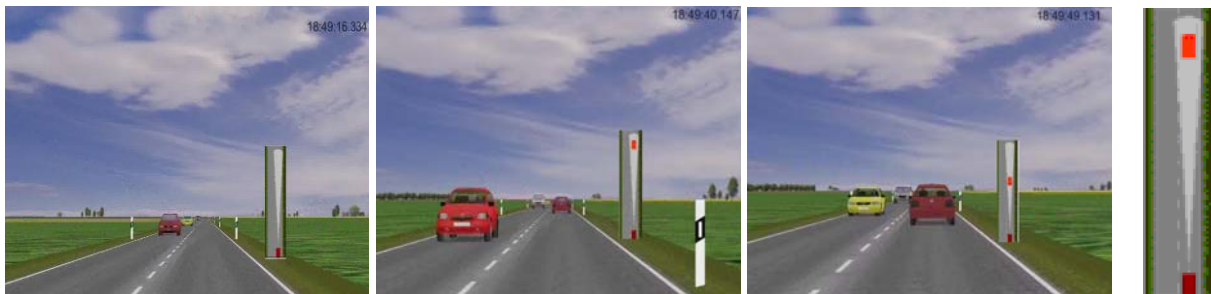


Abb. 5.2: Info-Assistent bei leichter Fahraufgabe. Die Fahrbahn und eventuelle Führungsfahrzeuge (mit 6 Sekunden Abstand THW und weniger) wurden kontinuierlich im Head-up Display am rechten Fahrbahnrand präsentiert. Rechts ist die visuelle Anzeige vergrößert dargestellt.

Warn-Assistent

Der Warn-Assistent setzte auf einer höheren Stufe der Informationsverarbeitung an als der Info-Assistent, da er die vorhandenen Informationen interpretierte und dem Fahrer diese Interpretation mitteilte. Passend zur Fahraufgabe, sich langsamen Fahrzeugen sicher anzunähern, bestand die Situationsinterpretation darin, bei Kollisionsgefahr zu warnen. Wie im vorigen Experiment war diese Warnung an die TTC gekoppelt und zeigte an, wie dringlich gehandelt werden musste, um eine Kollision zu vermeiden. Die Warnung unterstützte somit die Entscheidung, während die Handlungsausführung beim Fahrer blieb. Die Warnung erfolgte in Form einer visuellen Anzeige im Head-up Display (siehe Abbildung 5.3) und eines Warntones. Das Head-up Display war an derselben Stelle positioniert wie beim Info-Assistenten. Anzeige und Warnton sollten für den Fahrer auffordernden Charakter haben, die Bremse zu betätigen. In Anlehnung an die Verbesserungswünsche der Probanden des vorigen Versuchs gab der Warn-Assistent bei diesem Experiment nur einmalig eine Warnung. Diese erfolgte bei Unterschreitung einer TTC von 4.7 s. Dieser Wert war in Vorversuchen ermittelt worden und sollte so früh erreicht werden, dass der Fahrer eigenständig maßvoll bremsen konnte. Gleichzeitig sollte die Warnung aber auch so spät erfolgen, dass sie den Fahrer nicht störte und zeitlich mit dem Ereignis der drohenden Kollision in Zusammenhang gebracht wurde. Die visuelle Anzeige wurde solange präsentiert bis der TTC-Wert wieder überschritten wurde, während der Warnton nur zum Warnbeginn ertönte. Da TTC-Werte jedoch nur dann definiert sind wenn die eigene Geschwindigkeit höher ist als die des führenden Fahrzeugs, war der Assistent meist nur kurzzeitig aktiv. Zusammengefasst hatte der Warn-Assistent die Funktion, den Fahrer bei Kollisionsgefahr zu warnen. Er wurde später aktiv als der Info-Assistent, da nur in gefährlichen Situationen gewarnt werden sollte. Der Warn-Assistent warnte einstufig und nur kurzzeitig bis zum Überschreiten des TTC-Grenzwertes. Die Warnung erfolgte visuell und auditiv.



Abb. 5.3: Warn-Assistent bei leichter Fahraufgabe. Bei Unterschreitung der TTC von 4.7 Sekunden wurde im Head-up Display ein Bremspedal mit dem Wort „Bremsen!“ angezeigt und ein Warnton erklang (hier visualisiert durch einen Lautsprecher, im Versuch ausschließlich akustische Darbietung). Rechts ist die visuelle Anzeige vergrößert dargestellt.

Brems-Assistent

Der Brems-Assistent stellte die höchste Automatisierungsstufe dar. Er griff bei akuter Kollisionsgefahr aktiv ein und unterstützte so die Handlungsausführung bzw. übernahm diese in Krisensituationen, indem er das Fahrzeug selbständig abbremste. Der Brems-Assistent war wie der Warn-Assistent an die TTC gekoppelt. Bei Unterschreitung einer TTC von 2.5 Sekunden wurde die zur Kollisionsvermeidung notwendige Bremskraft errechnet und der Brems-Assistent aktiviert. Er griff jedoch nur dann ein, wenn der Fahrer nicht oder nicht ausreichend (d.h. mit mindestens der errechneten Bremskraft) selbst bremste. Die Kontrolle blieb somit beim Fahrer. Der Eingriff dauerte so lange, bis der kritische TTC-Wert wieder überschritten war und außerdem auch ein Mindestabstand von 8 m zum Führungsfahrzeug hergestellt war. Das Abbremsen bis zum Erreichen des Mindestabstandes sollte verhindern, dass der Fahrer sofort wieder Gas geben konnte und erneut abgebremst wurde. Dieses hätte zu wiederholten Anfahr- und Stopp-Vorgängen geführt, die in Vortests als unangenehm empfunden wurden. Zusätzlich war es notwendig, für langsame Annäherungen an das Führungsfahrzeug den Assistenten zu erweitern, da bei sehr niedrigen Geschwindigkeitsdifferenzen die Notbremsung nicht eingriff. Der Brems-Assistent enthielt daher zusätzlich einen Abstandsbremser, der verhinderte, dass der Fahrer durch sehr langsames Annähern zu nah an das Führungsfahrzeug aufschloss. Bei Unterschreiten eines Abstandes von 4 m zum Führungsfahrzeug wurde die in Abhängigkeit vom Abstand notwendige Bremskraft errechnet und der Abstandsbremser aktiviert. Auch der Abstandsbremser griff nur dann ein, wenn der Fahrer selbst nicht oder nicht ausreichend bremste. Er war nur aktiv wenn der Notbremser inaktiv war. Als Modifikation des Brems-Assistenten aus dem vorigen Experiment, wurde jeder Eingriff des Brems-Assistenten dem Fahrer durch eine visuelle Anzeige im Head-up Display und einen Warnton rückgemeldet, da die Fahrer im vorigen Experiment ein Feedback über die Systemaktivität gewünscht hatten. Die Position der visuellen Anzeige am Fahrzeugrand entsprach der Position der anderen Assistenten und ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Die Anzeige wurde für die gesamte Eingriffsdauer präsentiert, während der Warnton nur bei Unterschreiten des Grenzwertes ertönte. Zusammengefasst hatte der Brems-Assistent die Funktion, im Notfall einzugreifen und Kollisionen zu verhindern. Der Brems-Assistent wurde später aktiv als der Info- und Warn-Assistent, um dem Fahrer die eigenständige Bewältigung der Fahraufgabe zu ermöglichen. Wie der Warn-Assistent war der Eingriff einstufig. Er war meist länger aktiv als der Warn-Assistent, da das Aktivitätsende nicht nur durch Überschreiten der TTC, sondern auch durch das Herstellen eines ausreichenden Abstandes zum Führungsfahrzeug

fahrzeug definiert war. Der Bremsengriff erfolgte haptisch und wurde dem Fahrer visuell und auditiv angezeigt.

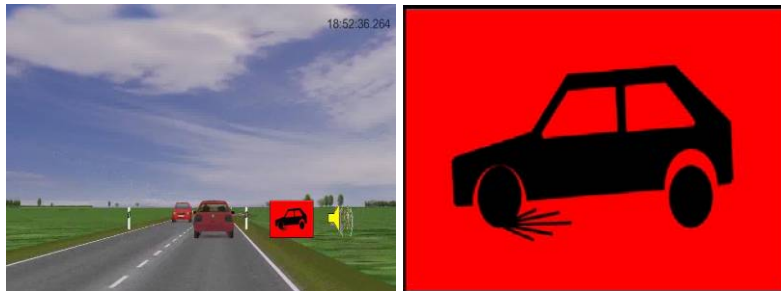


Abb. 5.4: Brems-Assistent bei leichter Fahraufgabe. Bei Unterschreitung einer TTC von 2.5 Sekunden wurde das Fahrzeug abgebremst. Als Rückmeldung erschien eine visuelle Anzeige und erklang ein Warnton (hier visualisiert durch einen Lautsprecher, im Versuch ausschließlich akustische Darbietung). Rechts ist die visuelle Anzeige vergrößert dargestellt.

5.1.3 Versuchspersonen

Am Versuch nahmen 16 Versuchspersonen teil, davon jeweils 8 Männer und Frauen. Das Alter lag zwischen 25 und 47 Jahren bei einem mittleren Alter von 35 Jahren mit einer Standardabweichung von 8 Jahren. Die Probanden wurden per Zufall aus dem Testfahrerpool des Institutes für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung des DLR ausgewählt, wobei nur Personen zwischen 25 und 50 Jahren und 5 Jahren Führerscheinbesitz und Fahrpraxis berücksichtigt wurden. Die Teilnahme an dem Versuch erfolgte freiwillig und wurde mit 8 Euro pro Versuchsstunde vergütet. Vor der Teilnahme an den Versuchsfahrten hatten alle Probanden ein vom Institut entwickeltes Testfahrertraining im Fahrsimulator absolviert. Das Training dauerte je nach Versuchsperson 65 bis 90 Minuten. Bei einer Person musste das Training aufgrund von Übelkeit abgebrochen werden. Diese Person nahm nicht am Versuch teil. Im Versuch gab es keine vorzeitigen Abbrüche wegen Übelkeit.

5.1.4 Versuchsplan und -ablauf

Der Versuch wurde im dynamischen Fahrsimulator des DLR durchgeführt, der in Kapitel 3.3 beschrieben wurde. Es gab 8 Versuchsbedingungen. Als unabhängige Variable wurden die Aufgabenanforderungen und die Assistenzfunktion variiert. Die Aufgabenanforderungen waren zweifach gestuft durch Variation der unterschiedlichen Sichtbedingungen (gute Sicht und Nebel). Die Assistenzfunktion war vierfach gestuft, da die Versuchspersonen entweder durch einen informierenden, warnenden oder eingreifenden Assistenten unterstützt wurden oder ohne Assistenz fuhren. Es handelte sich um einen vollständig gekreuzten Versuchsplan mit Messwiederholung. Alle 16 Versuchspersonen fuhren jeweils bei guter Sicht und bei Nebel mit dem Info-, dem Warn- und dem Brems-Assistenten sowie ohne Assistenz. Um Zeiteffekte zu kontrollieren, wurde ein Cross-Over-Plan verwendet, bei dem die Hälfte der Versuchspersonen mit der leichten Aufgabe begann, die andere Hälfte mit der schwierigen. Zur Kontrolle von Positionseffekten wurde innerhalb einer Schwierigkeitsbedingung die Reihenfolge der Assistenzbedingungen nach den Prinzipien des Lateinischen Quadrates ausbalanciert. Die Versuchsdurchführung war je Versuchsperson auf zwei Tage verteilt, getrennt nach leichten und schwierigen Fahrten. Die Versuchsdurchführung dauerte pro Tag zwischen 3:25 h und 5:15 h, der Ablauf ist in Tabelle 5.1 dargestellt.

Tab. 5.1: Ablauf eines Versuchstages.

Zeit ↓	Einwilligungserklärung, Gesamtinstruktion, Fragebogen zum Befinden vor dem Versuch	
	Baselinemessung mit dem Physio-System	
	Trainingsstrecke	
	Simulator- fahrt, 4-mal, (einmal je As- sistenzfunktion)	Instruktion der Aufgabe lesen
		Übungsfahrt
		Versuchsfahrt
		Ausfüllen von Akzeptanzfragebogen und Schwierigkeitsfragebogen; Interview
	Vergleichsfragebogen der Akzeptanz	
	Fragebogen zum Befinden nach dem Versuch	

5.1.5 Strecke

Die Versuchsstrecke war in der leichten und schwierigen Aufgabenbedingung identisch. Die Versuchspersonen fuhren auf einer Landstraße. Sie begann mit einer Geraden von 800 m Länge zum Einfahren. Nach einer Kurve (Radius 700 m, Länge 200 m) begann die eigentliche Fahraufgabe. Auf 15 km Länge waren in unregelmäßigen Abständen (900 bis 1600 m) zehn Fahrzeuge positioniert, denen sich die Versuchspersonen annäherten. Erst wenn ein Abstand von 6 Sekunden erreicht war, erhielten diese Fahrzeuge eine Geschwindigkeit von 50 km/h zugewiesen, damit die Position der Fahrzeuge auf der Strecke für alle Probanden unabhängig von deren Geschwindigkeit vergleichbar war. Das Führungsfahrzeug verließ nach 20 s die Fahrbahn, wobei diese Zeit erst beim Erreichen eines Abstandes von 3.5 s begann, um das Zustandekommen eines Annäherungsvorganges sicherzustellen. Das Verlassen der Straße geschah entweder aufgrund eines simulierten Notfalls (Betätigung der Warnblinkanlage und Befahren des Grünstreifens) oder weil das Fahrzeug einen Parkplatz ansteuerte (Betätigung des Blinkers). Bis zum nächsten Annäherungsvorgang gab es kein Führungsfahrzeug. Zur Verhinderung von Lerneffekten wurden die Fahrzeuge in jeder Versuchsbedingung an unterschiedlichen Positionen auf der Strecke platziert. Zum Kennenlernen der Assistenzsysteme wurde jede Versuchsbedingung zweimal gefahren. Die erste Fahrt war die Übungsfahrt. Die Daten der zweiten Fahrt wurden ausgewertet. Um auch hier Übungseffekte in der Abfolge der Fahrzeuge zu vermeiden, wurde in der Übungsstrecke eine andere Abfolge dargeboten als in der Bewertungsfahrt.

5.1.6 Fragebogen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen

Mit einem selbst erstellten Fragebogen wurde erfasst, wie die Aufgabenanforderungen in den unterschiedlichen Situationen von den Versuchspersonen bewertet wurden. Anhand von 10 Fragen sollten Bewertungen verschiedener Aspekte der Aufgabenanforderungen vorgenommen werden. Vor dem Hintergrund verschiedener Stufen im Informationsverarbeitungsprozess wurde erfragt, inwieweit bei der Wahrnehmung, der Planung bzw. Entscheidung und der Handlungsausführung unterschiedliche Anforderungen in jeder Versuchsbedingung erlebt wurden. Weiterhin sollten die Gesamtschwierigkeit und die notwendige Aktivitätsmenge beurteilt werden. Die restlichen 5 Fragen orientierten sich am NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) und erlaubten eine Bewertung der Leistung, der Anstrengung und der zeitlichen, mentalen und körperlichen Anforderungen.

5.1.7 Fragebogen zur Akzeptanzbewertung

In selbst erstellten Akzeptanzfragebögen wurde erfragt, wie die Versuchspersonen die Assistenzsysteme in Bezug auf Funktionalität, Gestaltung, Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit bewerteten. Dazu wurden die Fragen aus Experiment 1 faktorenanalytisch ausgewertet und neu kategorisiert bzw. an die neuen experimentellen Bedingungen angepasst. In einigen assistenzspezifischen Fragen unterschieden sich die Akzeptanzfragebögen der verschiedenen Assistenten. Die Fragebögen wurden direkt nach der Fahrt mit dem jeweiligen Assistenzsystem ausgefüllt.

5.1.8 Interviewleitfaden

Mit Hilfe eines selbsterstellten Interviewleitfadens sollte ermittelt werden, wie die Versuchspersonen den Abstand zum Führungsfahrzeug kontrollierten und wie sie die Assistenten für diesen Prozess nutzten. Die Fragen wurden den Teilnehmern vorgelesen und mit Beispielen erläutert.

5.2 Ergebnisse

Zur Untersuchung der Wirkung der Assistenzsysteme wurden subjektive und objektive Daten erhoben, die verschiedene Perspektiven betrachten und sich daher ergänzen. Es wird hier dieselbe Darstellungsweise wie in Experiment 1 gewählt. Zunächst wird dargestellt, welche Aufgabenanforderungen subjektiv bei Nebel im Vergleich zu den guten Sichtbedingungen gestiegen waren. Außerdem wird beschrieben, ob die Assistenten so funktionierten und genutzt wurden wie konzipiert. Danach wird dargestellt, ob die Probanden durch die Assistenten eine Entlastung in den Aufgabenanforderungen erlebten, ob die Assistenten das Fahrverhalten verbesserten und wie sie akzeptiert wurden.

Wie beim vorigen Längsführungsexperiment geschildert, sollte die Studie vor allem neue Erkenntnisse über die Wirkungsweise der verschiedenen Assistenzstrategien liefern, so dass auch in dieser Studie Signifikanzniveaus bis $p < .15$ mit der Bezeichnung „tendenziell signifikant“ berichtet werden und auf eine Korrektur der kumulierten Fehlerwahrscheinlichkeiten verzichtet wird. Die Ergebnisse sind daher vor allem als Hinweise auf die Wirkungsweise der Assistenten zu verstehen.

5.2.1 Manipulationskontrolle

Zur Untersuchung der Fragestellung wurden die unabhängigen Variablen Aufgabenanforderungen und Assistenzfunktion variiert. Wichtig für den Erfolg dieser Variation war, dass auch die Probanden die leichte und die schwierige Aufgabe als unterschiedlich schwierig empfanden und die Assistenzsysteme entsprechend der in Kapitel 5.1.2 beschriebenen Konzepte funktionierten.

Bewertung der Aufgabenanforderungen in den unassistenten Fahrten

Die Bewertungen in den Fahrten ohne Assistenzsystem zeigten, ob und in welchen Aufgabenaspekten die Fahrt bei Nebel als fordernder erlebt wurde als die Fahrt bei guter Sicht. Dazu wurden die Antworten der Fragebögen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen für die unassistenten Fahrten bei guter Sicht und bei Nebel verglichen. Die Antworten wurden vor der Auswertung auf Antwortplausibilität und Ausreißer geprüft. Unplausibel wäre beispielsweise ein stark unterschiedliches oder widersprüchliches Antwortverhalten zwischen

den Items gewesen. Es fanden sich keine unplausiblen Antworten. Es gab keine Extremwerte, aber einige Ausreißer. Dabei handelte es sich um Werte verschiedener Personen, denen nicht unbedingt ein fehlerhaftes Antwortverhalten zugrunde liegen musste und die daher nicht geändert wurden. Die Auswertung erfolgte durch einen t-Test für abhängige Stichproben. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.5 dargestellt. Die Nebelfahrt wurde insgesamt als schwieriger wahrgenommen als die Fahrt bei guter Sicht ($t(15) = -6.06$, $p < .01$). Dabei lag die Schwierigkeitsbeurteilung bei Nebel im mittleren Skalenbereich. Als fordernd an der Aufgabe wurden vor allem die zeitlichen Anforderungen erlebt ($t(15) = -6.6$, $p < .01$), dass man also schnell reagieren musste. Außerdem fühlten sich die Probanden mental stärker gefordert ($t(15) = -4.3$, $p < .01$), mussten also mehr aufpassen. Sowohl die zeitlichen als auch die mentalen Anforderungen wurden in der Nebelfahrt eher im oberen Skalenbereich mit schwierig bewertet und erhielten die höchste Bewertung. Schließlich war bei der Nebelfahrt auch mehr Anstrengung zur Erzielung derselben Leistung wie bei guter Sicht nötig ($t(15) = -4.04$, $p < .01$). Im Rahmen der verschiedenen Prozesse der Informationsverarbeitung empfanden die Probanden bei Nebel vor allem die Informationsaufnahme ($t(15) = -5.3$, $p < .01$) und die Handlungsausführung ($t(15) = -2.6$, $p < .05$) als schwieriger, allerdings lag beides nur im mittleren Schwierigkeitsbereich.

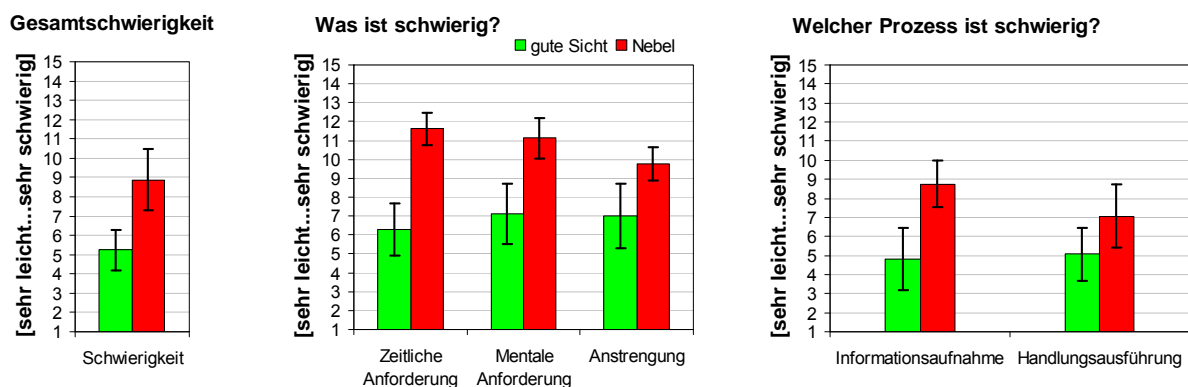


Abb. 5.5: Beurteilung der Schwierigkeit der unassistierten Fahrten bei guter Sicht bzw. bei Nebel („Manipulation Check“).

Tendenzielle Unterschiede zwischen den Aufgaben stellten die körperlichen Anforderungen ($t(15) = -1.8$, $p = .083$) dar und die Häufigkeit, etwas tun zu müssen ($t(15) = -2.1$, $p = .05$). Die Versuchspersonen lösten nach eigenen Angaben beide Aufgaben gleich gut ($t(15) = 0.5$, $p = .59$).

Aktivität der Assistenzsysteme

Damit die Assistenzsysteme unterstützend wirken konnten, mussten sie entsprechend ihrer Konzeption funktionieren. Der Info-Assistent sollte kontinuierlich die Fahrbahn anzeigen und bei Unterschreiten eines Sekundenabstand von 6 s auch ein Führungsfahrzeug. Der Warn-Assistent sollte bei Kollisionsgefahr so früh warnen, dass der Fahrer selbst noch bremsen konnte und der Brems-Assistent sollte später als der Warner erst im Notfall eingreifen. Abbildung 5.6 zeigt, mit welcher Häufigkeit die Assistenten bei guter Sicht bzw. bei Nebel aktiv waren.

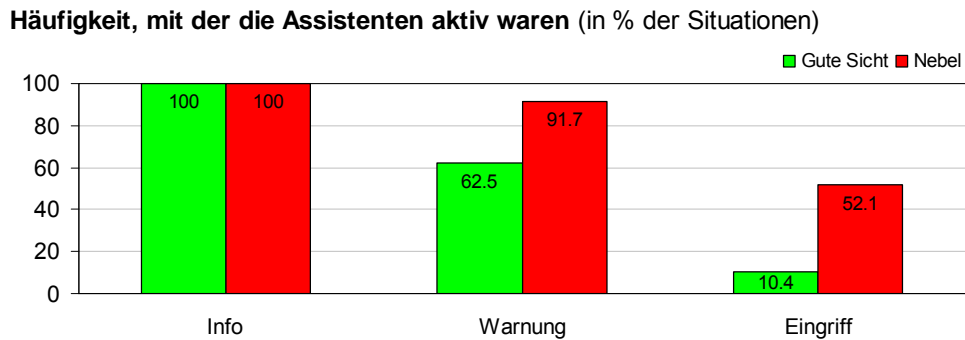


Abb. 5.6: Aktivität der 3 Assistenzsysteme bei guter Sicht und bei Nebel. Dargestellt sind die Häufigkeiten, mit der die Assistenten aktiv waren, in Prozent aller Fahrten mit dem jeweiligen System.

Die Häufigkeit, mit der die Assistenten aktiv waren, unterschied sich signifikant zwischen den Bedingungen ($Q(5) = 127.6, p < .001$). Der Info-Assistent war bei allen Fahrten aktiv, da er kontinuierlich die Fahrbahn anzeigte. Der Warn-Assistent war seltener aktiv als der Info-Assistent und der Brems-Assistent war wiederum seltener aktiv als der Warner. Hier zeigten sich die konzeptionellen Unterschiede der Assistenten in ihrer Funktionalität und im Unterstützungsbeginn. Der Info-Assistent sollte dauerhaft auch bei freier Fahrspur informieren. Der Warn-Assistent sollte später als der Info-Assistent beginnen und nur bei drohender Kollisionsgefahr warnen. Hier konnten die Probanden in einigen Fahrten die Situation selbst bewältigen, ohne dass eine Kollisionsgefahr entstanden war, so dass es keine Warnung gab. Der Eingriff sollte nur im Notfall ausgeführt werden, also dann wenn der Fahrer nicht oder nicht ausreichend bremste. Dadurch traten die Eingriffe noch seltener auf als die Warnungen. Kam es zu einem Eingriff, so hatte dieser bei etwa dreiviertel der Fälle die Funktion, die unzureichende Bremskraft des Fahrers zu verstärken. In wenigen Fällen wurde die Bremsbehandlung allein dem Assistenten überlassen. Die Assistenzaktivität unterschied sich auch nach der Sichtbedingung, in schwierigen Fahrten mussten die Probanden also häufiger unterstützt werden als in den leichten.

Nutzung der Assistenzsysteme

Mit Hilfe eines selbsterstellten Interviewleitfadens wurden die Probanden nach jeder Fahrt befragt, wie sie das jeweilige Assistenzsystem zur Abstandskontrolle genutzt hatten. Dabei wurde erfragt, inwiefern die einzelnen Assistenzsysteme für die Informationsaufnahme, die Entscheidung zu bremsen und die Bremsbehandlung jeweils nützlich waren. Anhand der Angaben der Probanden ließ sich erkennen, welchen Nutzen die einzelnen Systeme aus Sicht der Probanden für diese Fahraufgabe boten und ob sie die Assistenzsysteme in der Art nutzten, wie sie konzipiert waren.

Wie Abbildung 5.7 (links) zeigt, war für die Informationsaufnahme im Nebel hauptsächlich der Info-Assistent nützlich, aber auch der Warn-Assistent wurde dafür häufig genutzt. Als Nutzen gaben die Probanden an, dass die Assistenten die Sicht erweiterten, als eine Art Ersatzinformationsquelle funktionierten, als Vorwarnung das Führungsfahrzeug anzeigten oder dessen Erscheinen bestätigten.

Die Entscheidung zu bremsen (Abbildung 5.7, Mitte) wurde ebenfalls im Wesentlichen durch den Info-Assistenten und den Warn-Assistenten unterstützt. Der Info-Assistent wurde hierfür vor allem als Vorwarner genutzt, der ein schnelleres Reagieren ermöglichte, und zur Vorbereitung auf das Bremsen diente. Der Nutzen des Warn-Assistenten für die Bremsentschei-

dung bestand darin, dass er das Reaktionsvermögen verbesserte und direkt die Bremsentscheidung unterstützte. Die Assistenten wurden in beiden Sichtbedingungen in die Bremsentscheidung einbezogen, bei guter Sicht um 25 % seltener als bei Nebel. Bei der Interpretation der Häufigkeiten in Abbildung 5.7 ist allerdings die unterschiedliche Qualität der Mitwirkung zu berücksichtigen. Bei Fahrten mit dem Info-Assistenten wurden Planungs- und Entscheidungsprozesse in 10 von 16 Fällen allein dem Assistenten überlassen. Bei den Fahrten mit dem Brems-Assistenten führte der Fahrer hingegen fast immer einen eigenen Entscheidungsprozess durch, an dem der Assistent nur beteiligt war.

Die Bremshandlung (Abbildung 5.7, rechts) wurde vor allem durch den Brems-Assistenten unterstützt. Sein Nutzen bestand nach Angaben der Versuchspersonen darin, dass er das eigene Bremsen verstärkte, dass sie nicht selbst bremsen mussten und dass er für hypothetische Notfälle geeignet schien. Für 9 Fahrer war auch der Info-Assistent hilfreich für die Handlungsausführung, weil er ihnen mehr Zeit für das Bremsen verschaffte und ein sanfteres Bremsen ermöglichte. Für 8 Fahrer war der Warn-Assistent hilfreich für die Bremshandlung, weil er den Bremsbeginn markierte und die notwendige Bremsstärke angab. Nach Angaben der Probanden begann die Bremsausführung bei guter Sicht meist schwach und nahm dann zu, während sich bei Nebel der Bremsverlauf je nach Assistenzsystem unterschied. Der Bremsverlauf begann mit dem Info-Assistenten und dem Warn-Assistenten eher schwach und nahm dann zu. Ohne Assistenz oder mit dem Brems-Assistenten begann er eher stark und nahm dann ab.

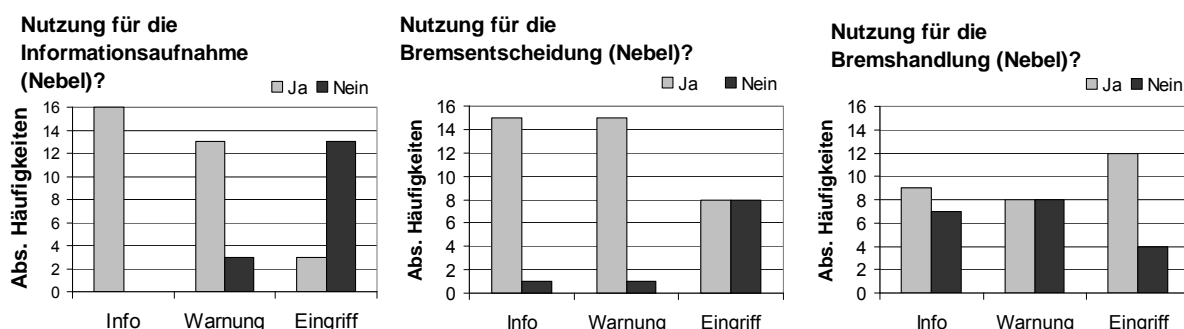


Abb. 5.7: Absolute Häufigkeiten mit denen die Probanden die Assistenten für die Informationsaufnahme, Entscheidung und Handlungsausführung bei Nebel nutzten

Zusammengefasst erwies sich die Variation der unabhängigen Variablen als erfolgreich. Die Fahrten bei Nebel wurden von den Probanden insgesamt als schwieriger erlebt als die Fahrten bei guter Sicht. Sie waren vor allem zeitlich und mental beanspruchender und anstrengender. Bei der Auswertung der Assistenzaktivitäten bestätigte sich, dass der Info-Assistent dauerhaft aktiv war und die Fahrspur mit oder ohne Führungsfahrzeug anzeigte. Auch die Anzeige der freien Fahrspur stellte eine Information für den Fahrer dar, so dass der Info-Assistent wie konzipiert eine kontinuierliche Unterstützung bot. Außerdem zeigte sich, dass die Häufigkeit, mit der die Assistenten aktiv waren, mit höherem Unterstützungsgrad abnahm. Der Warn-Assistent sollte bei Kollisionsgefahr warnen und der Brems-Assistent erst im Notfall, so dass letzterer auch seltener aktiv war. Ferner waren die Assistenten bei der schwierigen Aufgabe wie geplant häufiger aktiv als bei der leichten Aufgabe, da es dort häufiger kritisch wurde und die Probanden die Fahraufgabe nicht so gut allein bewältigen konnten. Die Interviews zur Nutzung der Assistenzsysteme zeigten, dass die Assistenten etwa entsprechend ihrer Konzeption genutzt wurden. Info-Assistent und Warn-Assistent wurden

vor allem für die Informationsaufnahme und die Bremsentscheidung genutzt und der Eingriff war für die Bremshandlung nützlich. Für viele Fahrer war allerdings auch der Info-Assistent für die Bremshandlung nützlich.

5.2.2 Bewertung der Aufgabenanforderungen in den Versuchsbedingungen

Die subjektiven Bewertungen der Probanden über die Anforderungen in allen Versuchsbedingungen zeigten, in welchen Anforderungen ein Assistent möglicherweise als entlastend gegenüber der manuellen Fahrt erlebt wurde. Dazu wurden die Fragebögen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen für alle Versuchsbedingungen ausgewertet. Wie bei der Manipulationskontrolle gab es keine Hinweise auf unplausible Antworten oder auf erforderliche Korrekturen bei den Ausreißern, so dass die Originalwerte für die Auswertung verwendet wurden. Die Auswertung erfolgte durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung unter Berücksichtigung der Reihenfolge, mit der die Aufgaben präsentiert wurden, als Zwischensubjektfaktor.

Wie in Abbildung 5.8 dargestellt, zeigten sich in den Ergebnissen Interaktionen bei den zeitlichen und körperlichen Anforderungen. Hinsichtlich der zeitlichen Anforderungen erklärten die Probanden, dass sie gerade bei Nebel mit dem Info-Assistenten weniger schnell reagieren mussten als ohne Assistenz oder mit Warn- oder Brems-Assistent ($F(3,42) = 21.7$, $p < .001$). Ebenso mussten sie bei Nebel mit dem Info-Assistenten weniger körperlich tun als bei manueller Fahrt oder mit den anderen Assistenten ($F(3,42) = 4.3$, $p < .05$). Bei der Bewertung ihrer Leistung zeigte sich ebenfalls eine Interaktion ($F(3,42) = 5.5$, $p < .05$). Dort gaben die Probanden an, bei Nebel mit dem Brems-Assistenten eine schlechtere Fahrleistung gezeigt zu haben vor allem im Vergleich zum Info-Assistenten (siehe Abbildung 5.8).

In weiteren Anforderungsaspekten erwiesen sich alle Assistenten als entlastend gegenüber der unassistierten Fahrt. So zeigten sich bei der Bewertung der Gesamtschwierigkeit und der mentalen Anforderungen Haupteffekte der Assistenzbedingung ($F(3,42) = 3.7$, $p < .05$). Leichte und schwierige Fahrten wurden mit allen Assistenten als insgesamt weniger schwierig und weniger mental fordernd erlebt als wenn die Fahrer ohne Assistenz fuhren. Außerdem gab es eine Interaktion bei der Bewertung der Anstrengung ($F(3,42) = 3.2$, $p < .05$). Die Fahrer gaben an, dass sie sich bei Nebel mit allen Assistenten weniger anstrengen mussten als ohne Assistenz.

Zusammengefasst stellten alle Assistenten in Bezug auf die Gesamtschwierigkeit, die notwendige Anstrengung und die mentalen Anforderungen eine Entlastung gegenüber der unassistierten Fahrt dar. In zwei weiteren Aspekten – nämlich den zeitlichen und körperlichen Anforderungen – erlebten die Probanden ebenfalls alle Assistenten als entlastend gegenüber der manuellen Fahrt, hier wirkte jedoch zusätzlich der Info-Assistent noch besser als der Warn- und der Brems-Assistent. Insbesondere die zeitlichen Anforderungen der Nebelfahrt reduzierten sich durch den Info-Assistenten deutlich, nämlich um 2 der 5 Grobkategorien der Fragebogenskala. Entsprechend gut bewerteten die Probanden ihre Fahrleistung bei Nutzung des Info-Assistenten.

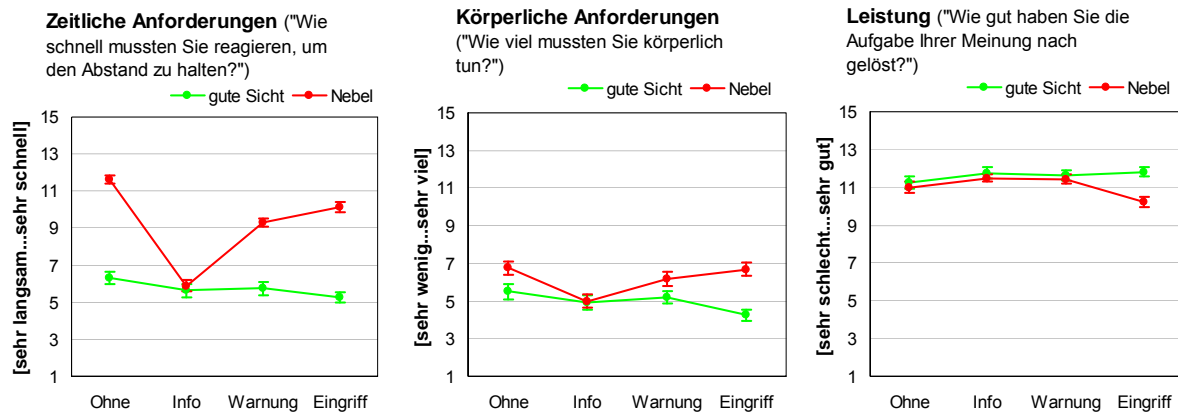


Abb. 5.8: Unterschiede in der Gesamtschwierigkeit, den zeitlichen Anforderungen und den körperlichen Anforderungen zwischen den Versuchsbedingungen.

5.2.3 Fahrdaten

In diesem Abschnitt wird das Fahrverhalten mit den verschiedenen Assistenten bzw. ohne Assistenz beschrieben. Die objektiven Fahrdaten zeigen, wie die Versuchspersonen mit den verschiedenen Assistenzkonzepten fuhren und welche Merkmale der Assistenzsysteme bei der vorliegenden Fahraufgabe unterstützend wirkten. Wie bereits beschrieben, bestand die Fahraufgabe in diesem Experiment darin, sich wiederholt langsamen Fahrzeugen anzunähern. Bei guter Sicht waren diese Fahrzeuge schon weithin sichtbar. Bei Nebel konnten die Probanden sie jedoch erst bei einer Distanz von etwa 55 m erkennen. Pro Fahrt musste jede Versuchsperson zehn Annäherungssituationen absolvieren. Für jede Annäherungssituation wurde zum einen das Fahrverhalten unmittelbar vor dem Annähern ausgewertet, bei dem die Probanden unbeeinflusst ohne Führungsfahrzeug fuhren. Zum anderen wurde der Annäherungsprozess ausgewertet, während dessen das Fahrverhalten vom Führungsfahrzeug beeinflusst wurde. Für die Phase des unbeeinflussten Fahrens wurden die Daten der letzten 7 s vor dem Annäherungsmanöver herangezogen, da in der Regel diese Zeitspanne zwischen den Manövern lag. Die Phase des Annäherungsprozesses begann, wenn ein Abstand von 6 s zwischen den Fahrzeugen erreicht war und dauerte 20 s. Während dieser Zeit fuhr das Führungsfahrzeug mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h.

Die aufgezeichneten Fahrdaten wurden im Hinblick auf mehrere Kriterien betrachtet. Zum einen sollte das Fahrverhalten auf einem geübten Umgang mit den Assistenzsystemen beruhen. Dazu wurde für alle Versuchsbedingungen das Geschwindigkeitsverhalten im Verlauf der zehn Annäherungsmanöver betrachtet, da die Fahrer anhand der Geschwindigkeit ihr Verhalten an die Situationsanforderungen anpassen konnten. Ferner sollten Abweichungen im Fahrverhalten zu Fahrtbeginn bzw. -ende unberücksichtigt bleiben, die aufgrund des Eingewöhnungsprozesses bzw. aufgrund der Sichtbarkeit des Streckenendes nicht auszuschließen waren. Ein weiteres Kriterium war die Berücksichtigung aller Probanden, das wichtiger erschien als die Berücksichtigung aller Annäherungssituationen, von denen einige aufgrund einer zu hohen oder zu niedrigen Geschwindigkeitswahl des Probanden fehlten oder kürzer ausfielen als oben beschrieben.

Das Geschwindigkeitsverhalten zeigte sich über die zehn Annäherungssituationen hinweg stabil, was auf einen gleichbleibend geübten Umgang mit den Assistenzsystemen hindeutet. Die Berücksichtigung der anderen Kriterien führte dazu, der Datenauswertung eine frühe, mittlere und späte Annäherungssituation zugrunde zu legen (siehe Tabelle 5.2).

Tab. 5.2: Annäherungssituationen, die in jeder Assistenzbedingung der Datenauswertung zugrunde liegen.

Assistenzbedingung	Annäherungsmanöver Nr.		
Ohne	2	6	8
Info	2	6	8
Warnung	2	6	9
Bremsen	2	5	8

Die Daten wurden auf Ausreißer und Extremwerte untersucht. In einer Situation (VP 28, Situation IS8) gab es eine Kollision mit dem Führungsfahrzeug. Dadurch bildeten die Daten ein untypisches Fahrverhalten ab und wurden nicht verwendet. Im nächsten Schritt wurden je Versuchsbedingung aus den Fahrdaten der verwendeten Situationen arithmetische Mittelwerte gebildet und die Bedingungen in einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung verglichen. Die absolvierte Reihenfolge der Aufgabenschwierigkeit wurde als Zwischensubjektfaktor berücksichtigt. Die Voraussetzungen der Varianzanalyse wurden geprüft, bei Verletzung der Sphärizität wird der nach Greenhouse-Geisser korrigierte Wert berichtet. Im Folgenden werden alle signifikanten Ergebnisse berichtet und nicht signifikante dann, wenn sie zum Erkenntnisgewinn beitragen. Die Ergebnisse werden zunächst für die Phase des unabhängigen Fahrens und dann für die Annäherungsmanöver dargestellt und sind jeweils nach Längs- und Querführung gegliedert. Am Ende beider Phasen wird jeweils das Fahrverhalten mit den unterschiedlichen Assistenten zusammengefasst.

Unabhängiges Fahren ohne Führungsfahrzeug

Das Fahrverhalten während des Fahrens ohne Führungsfahrzeug beschreibt, wie die verschiedenen Assistenzsysteme wirkten, wenn noch keine Aktivitäten der Fahrer zur Anpassung ihres Verhaltens an ein Führungsfahrzeug nötig waren. Tabelle 5.3 zeigt die ausgewerteten Variablen.

Tab. 5.3: Variablen zum Fahrverhalten während des unabhängigen Fahrens ohne Führungsfahrzeug. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt. LF = Längsführung, QF = Querführung

	Variablen	Haupteffekt Assistenzfunktion	Interaktion Assistenzfunktion u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
LF	Standardabweichung der Geschwindigkeit	.003	.118	.002
	Mittlere Beschleunigung	.001	.290	.797
	Mittlere Verzögerung	.023	.188	.000
	Minimale Geschwindigkeit	.068	.668	.757
QF	Spurübertretungen in % der Fahrtzeit	.280	.348	.082

Längsführung

Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Haupteffekt der Assistenzbedingung in der Standardabweichung der Geschwindigkeit ($F(3,42) = 5.51, p < .05$). Wie Abbildung 5.9 zeigt, wurde mit dem Info-Assistenten mit gleichmäßigerer Geschwindigkeit gefahren als ohne Assistenz oder den anderen Assistenten. Diese Geschwindigkeitsschwankungen wurden getrennt nach Beschleunigungen und Verzögerungen betrachtet. Sowohl die mittlere Beschleunigung ($F(3,42) = 6.71, p < .001$) als auch die mittlere Verzögerung ($F(3,42) = 3.52, p < .05$) zeigten Haupteffekte der Assistenzbedingung. Die mittlere Beschleunigung fiel mit dem Brems-Assistenten stärker aus als ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten. Bezüglich der mittleren Verzögerung zeigt Abbildung 5.9, dass mit dem Info-Assistenten und dem Warn-Assistenten weniger verzögert wurde als ohne Assistenz. Die maximalen Beschleunigungen und Verzögerungen zeigten dieselben Effekte und werden daher nicht gesondert aufgeführt. Schließlich gab es beim Geschwindigkeitsverhalten noch einen tendenziellen Haupteffekt in der minimalen Geschwindigkeit ($F(3,42) = 2.56, p = .068$). Die Probanden behielten in dieser Phase mit dem Info-Assistenten höhere Geschwindigkeiten bei als ohne Assistenz oder mit dem Brems-Assistenten.

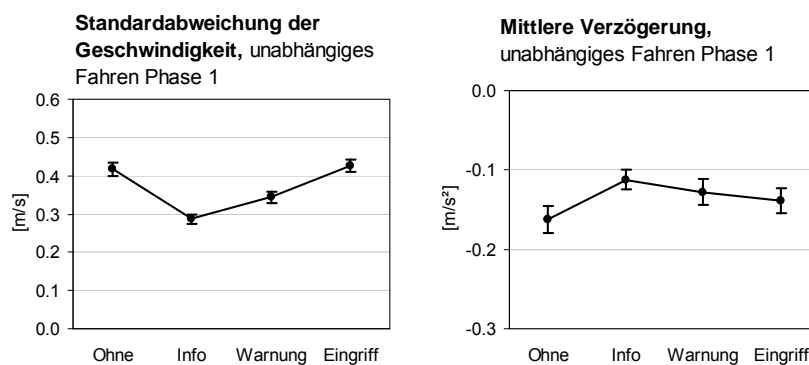


Abb. 5.9: Unterschiede der Assistenzbedingungen im Geschwindigkeitsverhalten beim unabhängigen Fahren ohne Führungsfahrzeug (Phase 1).

Die verschiedenen Aufgabenanforderungen führten ebenfalls zu unterschiedlichem Fahrverhalten. Wie in Abbildung 5.10 dargestellt, waren bei guter Sicht die Geschwindigkeitsschwankungen höher als bei Nebel ($F(1,14) = 15.36, p < .05$). Dasselbe galt für die mittlere Verzögerung ($F(1,14) = 53.58, p < .001$). Da bei guter Sicht das Führungsfahrzeug im Unterschied zur Fahrt bei Nebel sichtbar war, konnten die Probanden darauf mit einer Geschwindigkeitsreduktion reagieren. Die mittlere Geschwindigkeit unterschied sich nicht zwischen den Aufgabenanforderungen. Die Probanden hatten bei der Nebelfahrt zur Kompensation also keine niedrigere Geschwindigkeit gewählt.

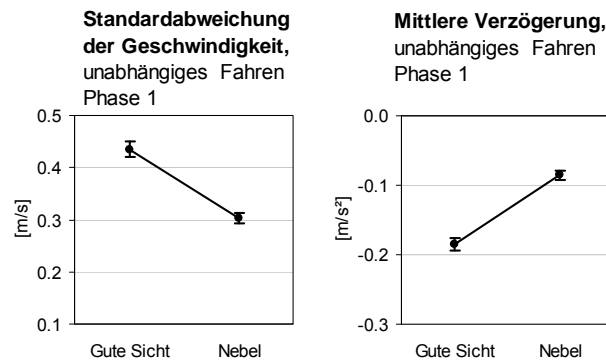


Abb. 5.10: Unterschiede im Fahrverhalten beim unabhängigen Fahren ohne Führungsfahrzeug je nach Aufgabenanforderung.

Querführung

Es gab keine Unterschiede der Assistenzbedingungen in der Querführung in Bezug auf Spurschwankungen oder Lenkradaktivität. Die Anzahl von Spurüberschreitungen unterschied sich tendenziell zwischen den Bedingungen ($Q(7) = 12.6$, $p = .081$), jedoch traten diese in nur 9 der 384 Situationen und damit eher selten auf.

Die unterschiedlichen Aufgabenanforderungen beeinflussten tendenziell die Dauer der Spurüberschreitungen. In der nebligen Fahrt wurde tendenziell mehr Fahrzeit außerhalb der Fahrspur verbracht als bei guter Sicht ($F(1,14) = 3.5$, $p = .082$).

Zusammenfassung des Fahrverhaltens beim unabhängigen Fahren

In dieser ersten Phase fuhren die Probanden ohne Führungsfahrzeug bzw. näherten sich zum Ende der Phase an dieses bis auf einen Abstand von 6 Sekunden an. In dieser Phase war das Führungsfahrzeug noch so weit entfernt, dass es von keinem der Assistenten erfasst wurde. Außerdem waren aufgrund der Entfernung noch keine Aktivitäten der Probanden notwendig, um ihr Verhalten an das Führungsfahrzeug anzupassen. Dennoch zeigte sich ein unterschiedliches Fahrverhalten mit den einzelnen Assistenten. Der Info-Assistent ermöglichte in dieser Phase ein gleichmäßigeres Geschwindigkeitsverhalten als es bei manueller Fahrweise gezeigt wurde. Die Fahrer zeigten mit ihm vor allem geringere Verzögerungen und insbesondere im Vergleich zum Brems-Assistenten geringere Beschleunigungen. Somit schien der Info-Assistent durch die Darstellung der freien Fahrspur ein stabileres Geschwindigkeitsverhalten zu erlauben als es ohne Assistent möglich war.

Das Fahrverhalten beim unabhängigen Fahren ohne Führungsfahrzeug unterschied sich außerdem deutlich zwischen den Aufgabenanforderungen. Bei guter Sicht war das Führungsfahrzeug bereits sichtbar, so dass die Probanden stärker verzögerten als bei Nebel, um dadurch möglicherweise ihre Geschwindigkeit an das Führungsfahrzeug anzupassen.

Annäherungsmanöver

Während des Annäherungsmanövers mussten die Probanden ihre Geschwindigkeit an das langsame Führungsfahrzeug anpassen. Die Auswertung des Fahrverhaltens in dieser Phase beschreibt, wie gut die verschiedenen Assistenzsysteme dabei unterstützten. Die Phase begann, wenn ein Abstand von 6 Sekunden zum Führungsfahrzeug erreicht war, und endete nach etwa 20 s. Tabelle 5.4 zeigt die ausgewerteten Variablen.

Tab. 5.4: Variablen zum Fahrverhalten während des Annäherungsmanövers. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt. LF = Längsführung, QF = Querführung

	Variablen	Haupteffekt Assistenzfunktion	Interaktion Assistenzfunktion u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
LF	Minimaler THW	.003	.359	.019
	Anteil der Fahrtzeit mit einem THW < 0.7s	.002	.089	.027
	Minimale TTC	.000	.071	.001
	Anteil der Fahrtzeit mit einer TTC < 5 s	.001	.019	.001
	Mittlere Verzögerung	.000	.001	.000
	Minimale Geschwindigkeit	.004	.134	.000
	Mittlere Zeitdauer zwischen Loslassen des Fahrpedals und einem Abstand von 55 m zum Führungsfahrzeug	.000	.000	.000
	Geschwindigkeit beim Abstand von 55 m	.000	.001	.001
	Maximale Bremspedalstellung	.000	.001	.000
	Zeitdauer vom Bremsbeginn bis zur maximalen Bremspedalstellung	.007	.296	.066
	Zeit von Fahrspurübertretungen	.025	.228	.769
QF	Mittlere Querablage	.020	.416	.425
	Schwankungen der Querablage	.957	.693	.050

Längsführung

Unter allen 384 untersuchten Situationen kam es zu einer Kollision mit dem Führungsfahrzeug, die in einer Nebelfahrt bei Nutzung des Info-Assistenten auftrat. Der Fahrer hatte in dieser Situation erst reagiert und das Gaspedal losgelassen als das Führungsfahrzeug bereits mit sehr geringem Abstand im Display angezeigt wurde. Da er in den anderen Situationen mit dem Info-Assistenten bereits viel früher reagiert hatte, ist nicht von einem Defizit des Info-Assistenten auszugehen.

Das Abstandsverhalten ließ sich anhand des Sekundenabstandes und der TTC beschreiben. Der minimale Sekundenabstand zeigte einen Haupteffekt der Assistenzbedingung ($F(3,42) = 5.61$, $p < .05$). Wie Abbildung 5.11 zeigt, näherten sich die Probanden mit dem Info-Assistenten im Vergleich zur unassistenten Fahrt weniger nah an das Führungsfahrzeug an. Auch mit dem Warn-Assistenten blieb der Abstand größer als ohne Assistenz. Die Auswertung des Minimumabstandes in Metern zeigte dasselbe Ergebnis und wird daher nicht gesondert aufgeführt. Die Fahrtzeit, die die Probanden mit Sekundenabständen unter 0.7 s verbrachten, zeigte ebenfalls einen Haupteffekt der Assistenzbedingung ($F(3,42) = 5.67$, $p < .05$) und eine tendenzielle Interaktion von Assistenzbedingung und Aufgabenanforderung ($F(3,42) = 2.32$, $p = .089$). Wie in Abbildung 5.11 dargestellt, wurde mit dem Info-Assistenten

und dem Warn-Assistenten weniger Fahrzeit bei kritischen Sekundenabständen verbracht als ohne Assistenz und dies galt tendenziell vor allem bei Nebel.

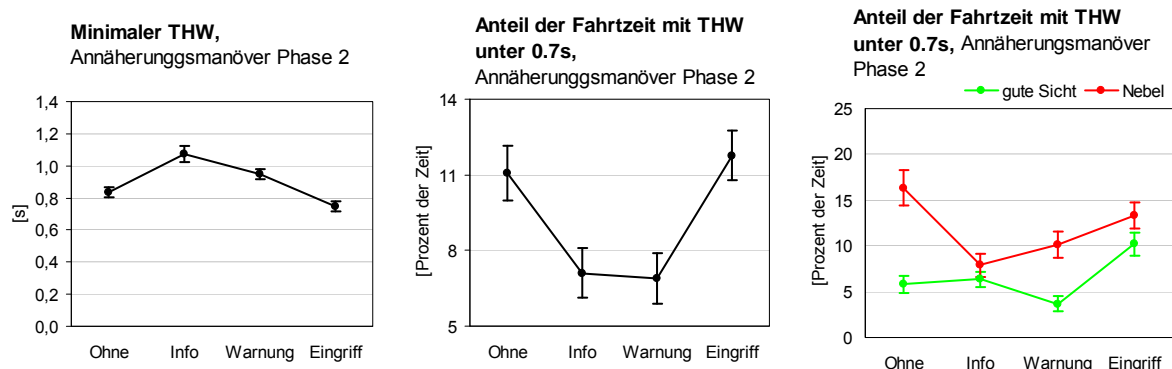


Abb. 5.11: Unterschiede im Sekundenabstand während des Annäherungsmanövers je nach Assistenzbedingung bzw. Interaktion von Assistenzbedingung und Aufgabenanforderung.

Wie bereits in Experiment 1 dargestellt, beschreibt die TTC die Zeit bis zu einer möglichen Kollision mit dem Führungsfahrzeug und berücksichtigt nicht nur die eigene Geschwindigkeit, sondern im Gegensatz zum Sekundenabstand auch die Geschwindigkeit des Führungsfahrzeugs. Die minimale TTC zeigte einen signifikanten Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,42) = 7.47$, $p < .001$) und eine tendenzielle Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen ($F(3,42) = 3.19$, $p = .071$). Wie in Abbildung 5.12 dargestellt, wurden mit dem Info-Assistenten nicht so niedrige TTC erreicht wie ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten. Wiederum galt dies tendenziell gerade bei Nebel. Die Fahrzeitanteile mit geringen TTC-Werten beschrieben, wie viel Fahrzeit mit kurzen Zeiträumen bis zu einer möglichen Kollision verbracht wurde. In der Literatur werden TTC unter 5 s als kritisch beschrieben (Vogel, 2003). Der Fahrzeitanteil mit TTC unter 5 s zeigte eine signifikante Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen ($F(3,42) = 3.7$, $p < .05$). Wie Abbildung 5.12 zeigt, verbrachten die Fahrer bei Nebel mit dem Info-Assistenten weniger Zeit bei kritischen TTC als sie es ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten taten.

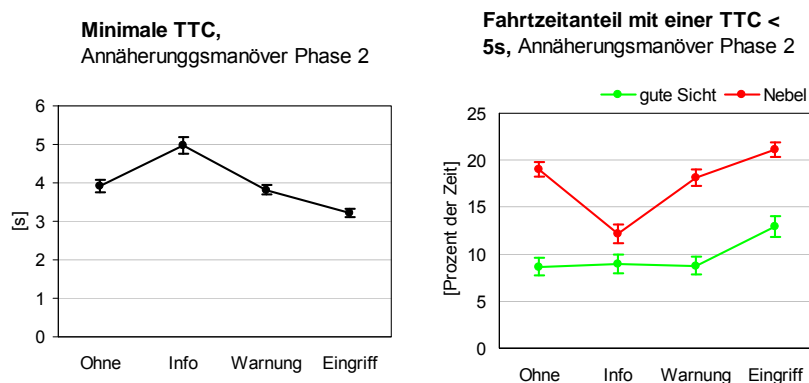


Abb. 5.12: Unterschiede der Assistenzbedingungen im Fahrverhalten während des Annäherungsmanövers.

In Bezug auf die Geschwindigkeitswahl war die Annäherungsphase dadurch charakterisiert, dass die Probanden ihre Geschwindigkeit an das langsame und mit konstanter Geschwindigkeit fahrende Führungsfahrzeug anpassen mussten. Die mittlere Verzögerung zeigte eine

Interaktion von Assistenzbedingung und Aufgabenanforderung ($F(3,42) = 6.2, p < .05$). Wie Abbildung 5.13 zeigt, musste das Fahrzeug bei Nebel mit dem Info-Assistenten weniger stark verzögert werden als beim Fahren ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten. Die minimale Geschwindigkeit, die während des Annäherungsmanövers erreicht wurde, zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,42) = 7.21, p < .05$). In Abbildung 5.13 ist dargestellt, dass die Geschwindigkeit mit dem Info-Assistenten nicht so stark reduziert wurde wie ohne Assistenz oder mit dem Eingriff.

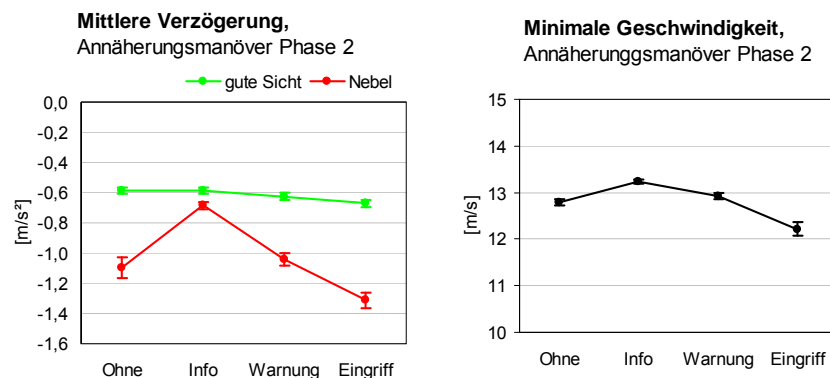


Abb. 5.13: Unterschiede im Geschwindigkeitsverhalten während des Annäherungsmanövers.

Die bisherigen Ergebnisse zeigten, dass mit dem Info-Assistenten einerseits das Fahrzeug am wenigsten verzögert werden musste und andererseits die Annäherungsmanöver am wenigsten kritisch verliefen. Zur Klärung dieser zunächst widersprüchlich erscheinenden Ergebnisse wurde ausgewertet, zu welchem Zeitpunkt die Fahrer in jeder Bedingung damit begannen, ihr Verhalten an das Führungsfahrzeug anzupassen. Eine Aktivität zur Verhaltensanpassung stellte das Loslassen des Fahrpedals dar. Daher wurden die Zeitpunkte miteinander verglichen, zu denen die Fahrer in den verschiedenen Bedingungen das Fahrpedal losließen. Als Bezugspunkt diente der Meterabstand zum Führungsfahrzeug bei einer Entfernung von 55 m. Diese Entfernung entsprach der Sichtweite bei Nebel und stellte etwa den Zeitpunkt dar, zu dem die Fahrer auf das Führungsfahrzeug reagieren konnten wenn sie ohne Assistenz fuhren. Bei guter Sicht konnten die Fahrer das Führungsfahrzeug zwar früher erkennen, zur Vergleichbarkeit aller Fahrerreaktionen wurde dieser Bezugspunkt jedoch für alle Bedingungen verwendet. Abbildung 5.14 zeigt, wie viele Sekunden vor oder nach diesem Sichtzeitpunkt die Fahrer in jeder Bedingung das Fahrpedal los ließen.

Zeitpunkte zu denen das Fahrpedal losgelassen wurde,
Annäherungsmanöver Phase 2

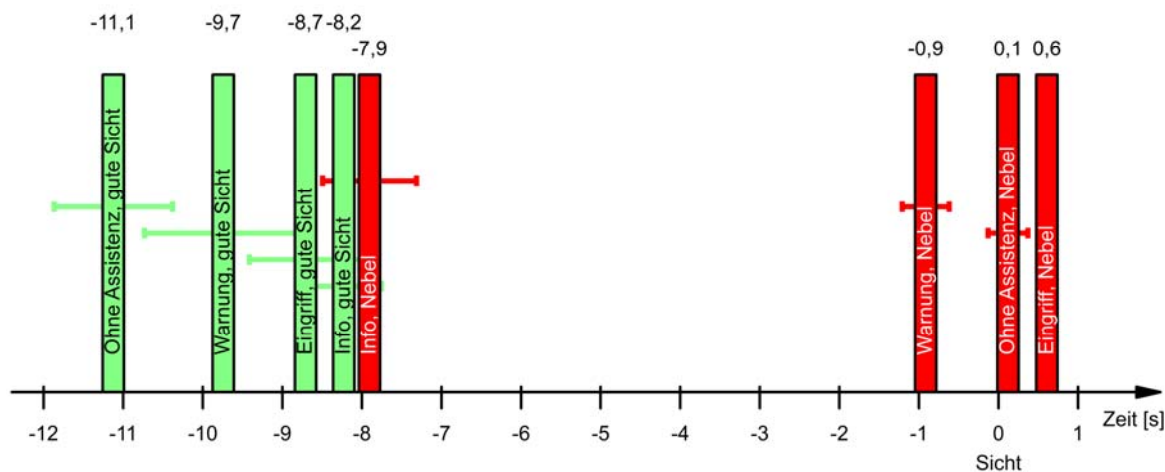


Abb. 5.14: Zeitraum zwischen dem Loslassen des Fahrpedals und dem Zeitpunkt, wo das Führungsfahrzeug bei Nebel sichtbar war (bei 0 Sekunden auf der Zeitachse, die Entfernung betrug dann 55 m). Dargestellt sind die mittleren Zeitpunkte in Säulenform mit den dazugehörigen Standardabweichungen.

Bei Nebel ließen die Fahrer ohne Assistenz oder mit dem Brems-Assistenten das Gaspedal erst kurz nach Sichtbarkeit des Führungsfahrzeugs los, mit dem Warn-Assistenten lag dieser Zeitpunkt im Durchschnitt 0.9 s davor. Hingegen lösten die Fahrer mit dem Info-Assistenten das Fahrpedal bereits knapp 8 s bevor das Führungsfahrzeug sichtbar war. Demnach unterstützte gerade bei Nebel der Info-Assistent die Fahrern besser dabei, früh für das Annäherungsmanöver aktiv zu werden als es ihnen ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten möglich war ($F(3,42) = 11.52$, $p < .001$). Verglich man nun die Geschwindigkeiten, die die Probanden zum Zeitpunkt der Sichtbarkeit des Führungsfahrzeugs erreichten, so zeigte sich ebenfalls eine signifikante Interaktion von Assistenzbedingung und Aufgabenanforderungen ($F(3,42) = 6.4$, $p < .05$). Wie Abbildung 5.15 zeigt, hatten die Probanden bei Nebel bereits auf eine geringere Geschwindigkeit verzögert, wenn sie den Info-Assistenten nutzten, im Vergleich zur Fahrt ohne Assistenz oder mit den andern Assistenten.

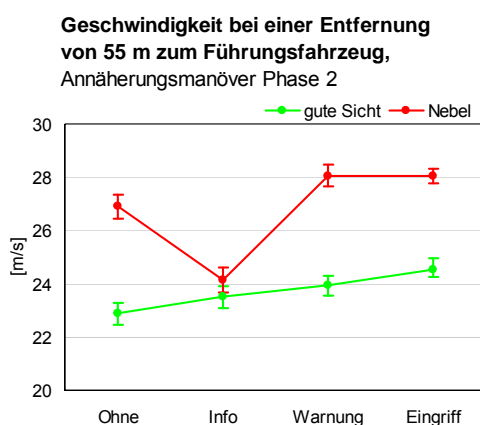


Abb. 5.15: Geschwindigkeit, die die Probanden in jeder Versuchsbedingung erreicht hatten, wenn das Führungsfahrzeug 55 Meter entfernt war.

Als weitere Parameter des Fahrverhaltens während des Annäherungsmanövers wurde das Bremsverhalten untersucht. Zum einen wurde verglichen, wie stark die Probanden das Bremspedal in den einzelnen Bedingungen betätigten. Im Falle des Brems-Assistenten wurde nur das vom Fahrer gezeigte Bremsverhalten berücksichtigt. Das Bremsmaximum zeigte eine Interaktion der Assistenzfunktion und der Aufgabenanforderungen ($F(3,42) = 6.73$, $p < .001$). Wie Abbildung 5.16 zeigt, mussten die Fahrer mit dem Info-Assistenten bei Nebel das Bremspedal nicht so stark betätigen wie ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten. Neben der Bremsstärke wurde auch die Schnelligkeit ausgewertet, mit der gebremst wurde. Dazu wurde die Zeitdauer berechnet, die zwischen dem Bremsbeginn und dem Bremsmaximum lag. Diese Bremsreaktionszeit war ein Maß dafür, wie dringlich das Bremsmanöver den Fahrern erschien und zeigte einen Haupteffekt der Assistenzbedingung ($F(3,42) = 8.76$, $p < .001$). Wie Abbildung 5.16 zeigt, ließen sich die Fahrer mit dem Info-Assistenten mehr Zeit für den Bremsvorgang als mit den anderen Assistenten.

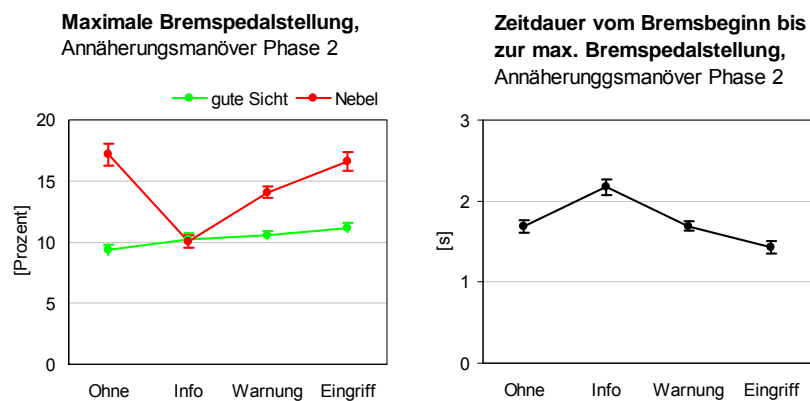


Abb. 5.16: Unterschiede im Bremsverhalten während des Annäherungsmanövers je nach Assistenzbedingung und Aufgabenanforderung. Beim Eingriff wurde nur das vom Fahrer gezeigte Bremsverhalten berücksichtigt.

Neben den Assistenzbedingungen beeinflussten auch die unterschiedlichen Sichtbedingungen das Fahrverhalten beim Annäherungsmanöver. Bei Nebel erreichten die Fahrer niedrigere Sekundenabstände ($F(1,14) = 7.01$, $p < .05$) und fuhren länger mit geringen Abständen hinter dem Führungsfahrzeug ($F(1,14) = 6.07$, $p < .05$) als bei guter Sicht. Ebenso war die minimale TTC bei Nebel kritischer ($F(1,14) = 17.66$, $p < .001$) und die Fahrtzeiten mit kritischen TTC dauerten länger an ($F(1,14) = 17.91$, $p < .001$). In Abbildung 5.17 sind die minimalen Sekundenabstände und TTC dargestellt.

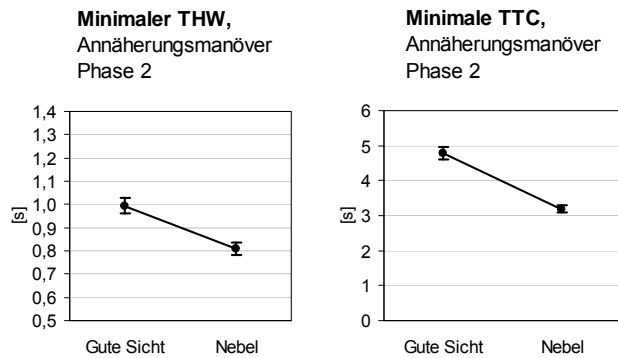


Abb. 5.17: Unterschiede im Abstandsverhalten während des Annäherungsmanövers je nach Aufgabenanforderung.

Die Verzögerung des Fahrzeugs war bei Nebel größer als bei guter Sicht ($F(1,14) = 35.54$, $p < .001$). Hatte bei guter Sicht die Verzögerung bereits beim unabhängigen Fahren in Phase 1 stattgefunden, so wurde bei Nebel vor allem während des Annäherungsmanövers verzögert. Bei Nebel wurden die Fahrer später durch Loslassen des Fahrpedals aktiv ($F(1,14) = 43,42$, $p > .001$) und fuhren bei Sichtbarkeit des Führungsfahrzeugs noch signifikant schneller ($F(1,14) = 17.54$, $p < .001$) als bei guter Sicht. Bei Nebel mussten die Fahrer das Bremspedal einerseits stärker betätigen ($F(1,14) = 29.31$, $p < .001$) und tendenziell schneller betätigen ($F(1,14) = 3.97$, $p = .066$) als bei guter Sicht. Abbildung 5.18 zeigt die unterschiedlichen Verzögerungen, Geschwindigkeiten zum Sichtzeitpunkt und Zeitpunkte, zu denen das Fahrpedal losgelassen wurde.

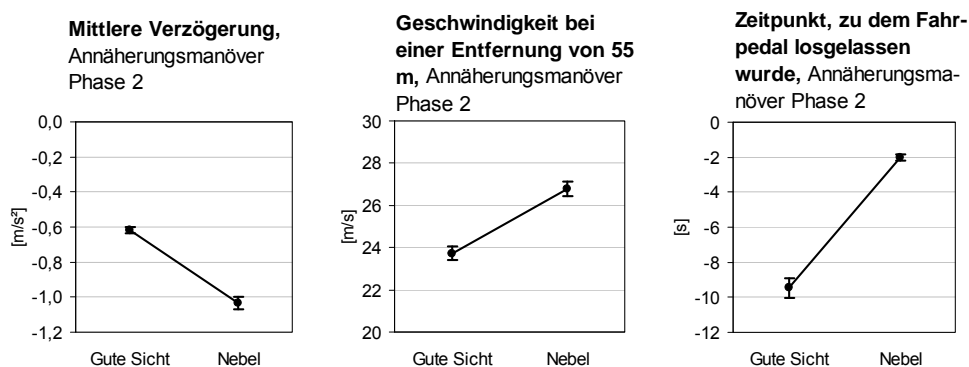


Abb. 5.18: Unterschiede im Fahrverhalten während des Annäherungsmanövers je nach Aufgabenanforderung. Die rechte Grafik stellt die Zeitpunkte dar, zu denen das Fahrpedal losgelassen wurde, bezogen auf den Sichtzeitpunkt bei einer Entfernung von 55 m.

Querführung

Es gab einen signifikanten Unterschied zwischen den Assistenzbedingungen in der Fahrzeit, mit der die Fahrspur übertreten wurde ($F(3,42) = 4.96$, $p < .05$). Mit dem Info-Assistenten war die außerhalb der Fahrspur verbrachte Zeit länger als ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten. Diese Überschreitungen betrugen wenige Zentimeter und traten meistens auf, während im Display die sich verändernde Distanz zum anderen Fahrzeug angezeigt wurde, und sind daher wahrscheinlich auf Ablenkung durch den Assistenten zurückzuführen. Die Anzahl der Spurübertretungen unterschied sich hingegen nicht zwischen den Assistenzbe-

dingungen, der Info-Assistent führte demnach nicht zu häufigeren Spurüberschreitungen. Die Fahrer zeigten außerdem in Abhängigkeit von der Assistenzbedingung eine unterschiedliche Querablage ($F(3,42) = 3.66, p < .05$) und fuhren mit dem Info-Assistenten am weitesten rechts in der Fahrspur und mit dem Brems-Assistenten am weitesten links. Die unterschiedlichen Aufgabenanforderungen beeinflussten die Querführung in Form tendenziell unterschiedlicher Standardabweichungen in der Querablage ($F(1,14) = 4.61, p = .05$). Bei Nebel wurde stärker in der Querablage geschwankt als bei guter Sicht. In Abbildung 5.19 sind die Fahrzeiten bei Spurüberschreitungen, Querablagen und Schwankungen der Querablage dargestellt.

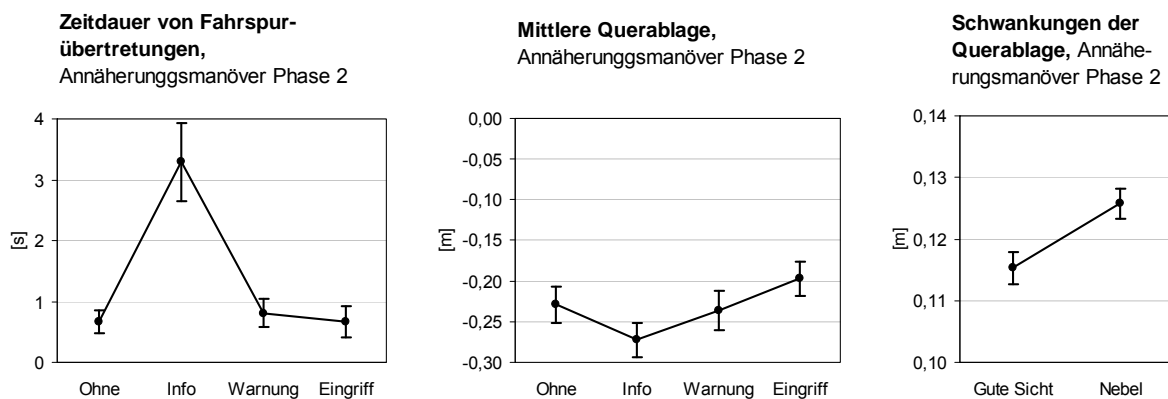


Abb. 5.19: Unterschiede in der Querführung je nach Assistenzbedingung bzw. Aufgabenanforderung. In der mittleren Grafik stehen negative Werte für eine Positionierung der Fahrzeugmitte rechts von der Fahrspurmitte.

Zusammenfassung des Fahrverhaltens während des Annäherungsmanövers

Anhand der Ergebnisse in der Annäherungsphase lässt sich beschreiben, welche Eigenschaften der Assistenzsysteme im Vergleich zur unassistenten Fahrt hilfreich dabei waren, die eigene Geschwindigkeit an das langsame Führungsfahrzeug anzupassen.

Mit dem Info-Assistenten hielten die Probanden den größten Abstand zum Vordermann und konnten geringe Abstände zügiger wieder vergrößern als es mit dem Brems-Assistenten oder ohne Assistenz möglich war. Auch die TTC-Werte reduzierten sich mit dem Info-Assistenten auf weniger kritische Werte und blieben nicht so lange kritisch. Verglichen mit der Fahrt ohne Assistenz konnten die Fahrer mit dem Info-Assistenten also größere Abstände einhalten, Zeiten bis zu möglichen Kollisionen waren länger und Abstände sowie TTC blieben länger unkritisch. Diese Wirkungen traten insbesondere bei Nebel auf. Ermöglicht wurde diese positive Wirkung wahrscheinlich aufgrund des frühen Zeitpunktes, zu dem sich die Fahrer mit dem Info-Assistenten auf das Annäherungsmanöver vorbereiten konnten. Durch die konstante und frühe Anzeige etwaiger Führungsfahrzeuge konnten sie auch bei Nebel fast so früh reagieren wie bei guter Sicht in allen Assistenzbedingungen. Dadurch konnten die Probanden das Fahrzeug früher verzögern und hatten bereits eine niedrigere Geschwindigkeit erreicht, wenn das Führungsfahrzeug schließlich sichtbar war. Durch diese bessere Geschwindigkeitsanpassung an die Situation verlief der Annäherungsprozess zum einen unkritisch und die Probanden mussten nicht so zügig und nicht so stark bremsen wie ohne Assistenz.

Der Warn-Assistent ermöglichte bei Nebel eine Fahrerreaktion kurz vor Sichtbarkeit des Führungsfahrzeugs und damit früher als beim Brems-Assistenten oder ohne Assistent, aber

deutlich später als beim Info-Assistenten. Der Warn-Assistent wies ähnlich gute Werte hinsichtlich des Sekundenabstandes auf wie der Info-Assistent. Möglicherweise lag das daran, dass die Fahrer mit dem Warn-Assistenten bei Nebel schon kurz vor dem Sichtzeitpunkt aktiv werden konnten. Allerdings führte seine Nutzung zu kritischeren TTC-Werten. Die Probanden hielten also mit dem Warn-Assistenten ähnlich viel Abstand wie mit dem Info-Assistenten, jedoch wurden die Zeiten bis zu einer möglichen Kollision kritischer. Da die TTC als Divisor die Differenzgeschwindigkeiten von Führungsfahrzeug und eigenem Fahrzeug berücksichtigt, deutet – bei vergleichbarem Abstand als Dividend – ein niedrigerer TTC-Wert auf eine schlechtere Anpassung der eigenen Geschwindigkeit an das Führungsfahrzeug. Im Vergleich zum Info-Assistenten konnten die Probanden mit dem Warn-Assistenten zwar ähnlich gute Abstände halten, ihn aber weniger antizipativ in Bezug auf ihre Geschwindigkeitswahl nutzen. Entsprechend fuhren die Probanden zum Sichtzeitpunkt mit dem Warn-Assistenten schneller als mit dem Info-Assistenten und vergleichbar zur unassistenten Fahrt. Ferner mussten sie mit dem Warner zügiger und stärker bremsen als mit dem Info-Assistenten und vergleichbar zur unassistenten Fahrt.

Mit dem Brems-Assistenten blieben die Probanden in ihrem Abstandsverhalten auf dem Niveau der Fahrten ohne Assistenz. Bei Nebel lösten sie das Fahrpedal sogar noch etwas später als bei unassistenten Fahrt. Wurde das Führungsfahrzeug bei einer Distanz von 55 m sichtbar, war ihre Geschwindigkeit noch ähnlich hoch wie ohne Assistenz und sie mussten mit gleicher Stärke und Zügigkeit bremsen. Somit konnte der Brems-Assistent das Fahrverhalten gegenüber der unassistenten Fahrt nicht verbessern.

Das Annähern bei Nebel unterschied sich von dem Annäherungsverhalten bei guter Sicht dadurch, dass sich die Fahrer näher und mit kritischeren TTC-Werten an das Führungsfahrzeug annäherten und andauernder mit niedrigen Abständen und niedrigen TTC-Werten fuhren. Die Fahrer wurden bei Nebel wesentlich später aktiv als bei guter Sicht, um sich auf das Annähern vorzubereiten. Daher wurde bei Nebel eher in der Annäherungsphase verzögert, während dies bei guter Sicht bereits vorher beim unabhängigen Fahren geschehen war. Somit war die Geschwindigkeit bei einer Entfernung von 55 m bei Nebel noch höher als bei guter Sicht und die Fahrer mussten stärker bremsen und tendenziell zügiger. Die Schwankungen in der Spur waren bei Nebel stärker, was auf eine schlechtere Spurhaltequalität deutet.

5.2.4 Physiologische Beanspruchungsmessung

Physiologische Beanspruchungsparameter maßen die objektive Beanspruchung der Fahrer und ergänzten daher sowohl ihre subjektiven Bewertungen der Aufgabenanforderungen in den Fragebögen als auch die Erkenntnisse zur Wirkung der Assistenzsysteme aus den Fahrdaten. Als Beanspruchungsparameter lagen die mittleren Differenz-IBI vor. Diese berechnen sich aus der mittleren Differenz zwischen der Herzrate im Versuch und der Herzrate in einer Ruhephase vor dem Versuch. Während der Ruhephase befanden sich die Versuchspersonen im Simulator und schauten für 2 Minuten auf ein Standbild der Simulationsumgebung. Eine negative Differenz deutete auf eine höhere Beanspruchung im Versuch gegenüber der Ruhephase hin, da die Zeit zwischen den R-Zacken sank, und eine positive Differenz deutete auf eine niedrigere Beanspruchung. Die genaue Berechnung des Wertes und die Definition von Ausreißern und deren Korrektur sind im allgemeinen Teil beschrieben. Nach der Ausreißerkorrektur wurden die Daten in einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung und der Reihenfolge als Zwischensubjektfaktor ausgewertet. In der Phase des unabhängigen Fahrens gab es keine signifikanten Unterschiede der Differenz-IBI zwischen den Assistenzbedingungen ($F(3,42) = .07$, $p = .975$). Auch während des Annähe-

rungsmanövers unterschieden sich die Differenz-IBI nicht zwischen den Assistenzbedingungen ($F(3,42) = .07$, $p = .973$). Außerdem gab es in beiden Phasen jeweils keine Unterschiede der Differenz-IBI zwischen den Aufgabenanforderungen (gute Sicht: $F(1,14) = .21$, $p = .653$; Nebel: $F(1,14) = .78$, $p = .392$). Verglich man die physiologische Beanspruchung der Phase des unabhängigen Fahrens jedoch mit der des Annäherungsmanövers, so zeigte sich ein Haupteffekt der Phase ($F(1,14) = 7.9$, $p < .05$). Wie Abbildung 5.20 zeigt, waren die Differenz-IBI beim Annäherungsmanöver (Phase 2) geringer und die physiologische Beanspruchung damit höher als während des unbeeinflussten Fahrens (Phase 1). Außerdem zeigte sich eine tendenzielle Interaktion von Phase und Aufgabenanforderung in Bezug auf Differenz-IBI ($F(1,14) = 2.7$, $p = .120$). Wie Abbildung 5.20 zeigt, nahm tendenziell bei Nebel die physiologische Beanspruchung in Phase 2 stärker zu als bei guter Sicht.

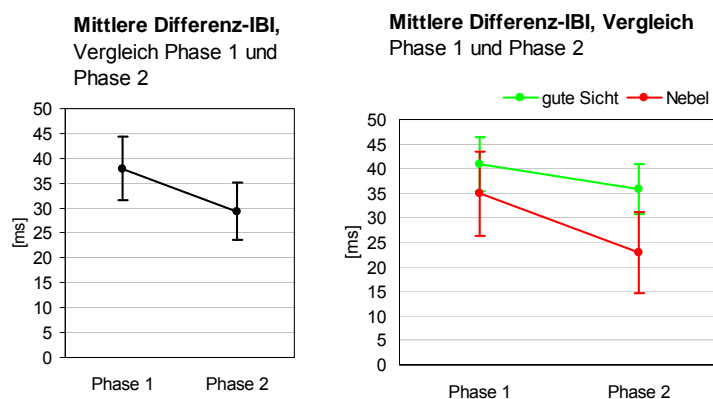


Abb. 5.20: Mittlere Differenz-IBI im Vergleich zwischen Phase 1 und Phase 2.

5.2.5 Akzeptanzbeurteilungen der Assistenzsysteme

In den Akzeptanzfragebögen bewerteten die Versuchspersonen die Funktionalität, Gestaltung, Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit der Assistenzsysteme. Die Bewertungen gaben Auskunft darüber, welche Systemeigenschaften von den Probanden positiv bewertet wurden und ergänzten daher die ebenfalls subjektiven Bewertungen der Aufgabenanforderungen sowie die Erkenntnisse über die Wirkungsweise der Assistenten aus den objektiven Fahrdaten. Anhand von Fragen zur *Funktionalität* wurde die vom System übernommene Aufgabe bewertet. Fragen zur *Gestaltung* ermöglichten eine Beurteilung der gestalterischen Umsetzung. Die *Benutzerfreundlichkeit* erfasste, wie gut man mit dem Assistenzsystem umgehen konnte. Die Fragen zur *Nützlichkeit* erfragten, wie nützlich das präsentierte Assistenzsystem für das Fahren war. Die Fragebögen der verschiedenen Assistenten waren in einigen Fragen an die Funktionalität und Gestaltung der Systeme angepasst und daher nicht für alle Assistenten identisch. In der unassistenten Fahrt wurde wie in Experiment 1 anstelle eines „neuen“ Assistenten der Tachometer beurteilt.

Vor der statistischen Auswertung wurden die Daten auf Plausibilität, Ausreißer und Extremwerte untersucht. Die jeweiligen Kriterien wurden bereits in Experiment 1 beschrieben. 8 Antworten erschienen unplausibel, da sie dem sonstigen Antwortverhalten widersprachen. Ein weiteres Item war mit 2 Antworten beantwortet worden. Die Werte der 9 Items wurden durch das bereits in Kapitel 4 genannte Imputationsverfahren ersetzt, um die Datengrundlage nicht zu reduzieren. Die Prüfung auf Ausreißer und Extremwerte ergab in jeder der 8 Bedingungen Ausreißer. Viele Ausreißer gab es bei Items, deren mittlerer Skalenbereich das

Optimum gegenüber beiden Skalenenden darstellte. Da hier bereits geringe Abweichungen als Ausreißer identifiziert wurden, wurde keine Korrektur vorgenommen. Die Ausreißer der anderen Items stellten deutlichere Abweichungen von der jeweiligen Verteilung der anderen Werte dar. Da es sich um unterschiedliche VP handelte, kann man nicht von einem fehlerhaften Antwortverhalten oder einer grundsätzlich anderen Antwortbasis ausgehen. Es könnte sich auch um die tatsächliche Meinung der VP zu dieser jeweiligen Bedingung gehandelt haben. Die Werte wurden daher beibehalten. Die Akzeptanzbewertungen wurden mithilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet. Die Reihenfolge, in der die Aufgabenschwierigkeit dargeboten wurde, wurde als Zwischensubjektfaktor berücksichtigt.

Der Vergleichsfragebogen zur Akzeptanz wurde getrennt für die leichte und die schwierige Fahrt am Ende des entsprechenden Versuchstages ausgefüllt. Darin sollten die 3 Assistenten (ohne den Tacho) miteinander verglichen werden, indem Plätze von 1 (beste Bewertung) bis 3 (schlechteste Bewertung) hinsichtlich der generellen Funktionalität, Gestaltung, Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit vergeben wurden. Außerdem vergaben die Probanden eine Gesamtnote und gaben an, welchen Assistenten sie für einen Kauf in Betracht ziehen würden und wie viel sie investieren würden. Da bei dieser Bewertung nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann, wurden die Daten mit dem Friedman-Test verglichen.

Im Folgenden werden alle signifikanten und tendenziell signifikanten ($p < .15$) Ergebnisse zu den 4 Bereichen der Akzeptanzfragebögen und zum Vergleichsfragebogen dargestellt.

Funktionalität

Tabelle 5.5 zeigt die signifikanten und tendenziell signifikanten Variablen zur Funktionalität.

Tab. 5.5: Variablen zur Akzeptanzbewertung der Funktionalität der Assistenzsysteme. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie finden Sie die hinter dieser Art von Fahrerassistenz stehende Idee? (Gesamtbewertung der Funktionalität)	.590	.304	.123
Der Assistent informiert/warnt/greift ein bei...Wie sinnvoll finden Sie das oder hätten Sie lieber eine Information/Warnung/Eingriff über etwas Anderes erhalten? (Assistenzinhalt)	.043	.007	.816
Wie finden Sie die Dauer der Assistenz (kontinuierlich bei Tacho und Info bzw. nur zeitweise bei Warn und Eingriff) (Assistenzdauer)	.002	.016	.275
Was halten Sie von der Art der Unterstützung (Information bzw. Warnung bzw. Eingriff)? (Assistenzfunktion)	.087	.191	1.00
Wie häufig haben Sie die Funktionen des Assistenten für Ihre Abstandhaltung genutzt? (Nutzungshäufigkeit)	.002	.000	.000

Die *Gesamtbewertung der Funktionalität* („Wie finden Sie die hinter dieser Art von Fahrerassistenz stehende Idee?“) unterschied sich nicht zwischen den Assistenzsystemen ($F(3,42) = .65$, $p = .590$). Alle Assistenten wurden in ihrer Funktionalität mit der Note „gut“ bewertet. In einzelnen Aspekten zur Funktionalität gab es jedoch unterschiedliche Bewertungen zwischen den Assistenzbedingungen. Bei der Bewertung des *Assistenzinhaltes* sollten die Probanden angeben, ob sie sinnvoll fanden, was der Assistent mitteilte bzw. an welchen Parameter seine Aktivität gekoppelt war („Wie sinnvoll finden Sie die Information bzw. Warnung bzw. Eingriff über Abstand bzw. Kollisionsgefahr?“). Der Tacho war an die Geschwindigkeit gekoppelt, der Info-Assistent an den Abstand und Warn- bzw. Brems-Assistent an die Kollisionsgefahr. Hier gab es eine Interaktion von Assistenzsystem und Aufgabenbedingung ($F(3,42) = 4.68$, $p < .05$). Wie Abbildung 5.21 zeigt, wurden die Assistenzinhalte bei Nebel alle ähnlich gut bewertet, bei guter Sicht wurde jedoch die Abstandsinformation des Info-Assistenten schlechter bewertet als die Meldungen der anderen Assistenten. Bei der Bewertung der *Assistenzdauer* („Wie finden Sie die Dauer der Assistenz?“) sollten die Probanden bewerten, wie sie die kontinuierliche Aktivität des Tacho bzw. des Info-Assistenten fanden bzw. die zeitweise Aktivität von Warn-Assistent oder Brems-Assistent. Die Bewertung zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(2,28.6) = 7.42$, $p < .05$) und eine Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung ($F(3,42) = 3.87$, $p < .05$). Wie Abbildung 5.21 zeigt, wurde bei beiden Sichtbedingungen die kontinuierliche Assistenz des Tachometers besser bewertet als die Aktivitätsdauer der anderen Assistenten. Bei guter Sicht wurde die kontinuierliche Aktivität des Info-Assistenten jedoch schlechter bewertet als die Aktivitätsdauer der anderen Assistenten. Bei der Bewertung der *Assistenzfunktion* („Was halten Sie von der Art der Unterstützung?“) sollten die Probanden beurteilen, was sie davon hielten bei der Informationsaufnahme, der Entscheidungsfindung oder der Handlungsausführung unterstützt zu werden. Die Assistenzfunktion zeigte einen tendenziellen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,42) = 2.34$, $p = .087$). Die Unterstützung der Informationsaufnahme durch den Tacho wurde besser bewertet als die jeweilige Unterstützungsart der 3 neuen Assistenzsysteme. Außerdem wurden die Probanden nach der *Häufigkeit* befragt, mit der sie die Systeme für ihre Abstandhaltung genutzt hatten. Die Bewertungen zeigten eine Interaktion von Assistenzsystem und Aufgabenanforderung ($F(3,42) = 5.9$, $p < .05$). Wie Abbildung 5.21 zeigt, wurde der Tacho bei guter und schlechter Sicht etwa ähnlich häufig genutzt, während die „neuen“ Assistenzsysteme bei guter Sicht seltener genutzt wurden als bei Nebel. Bei Nebel wurde der Info-Assistent von allen Assistenten am häufigsten genutzt.

Die Bewertung der Funktionalität hing in 2 Aspekten von den Aufgabenanforderungen ab. Die Gesamtbewertung der Funktionalität zeigte einen tendenziellen Haupteffekt der Aufgabenanforderungen ($F(1,14) = 2.7$, $p = .123$) und war für die Nebelfahrt höher als bei guter Sicht. Die Nutzungshäufigkeit zeigte einen Haupteffekt ($F(1,14) = 34.2$, $p < .001$) in der Form, dass die Systeme bei Nebel häufiger genutzt wurden als bei guter Sicht.

In 2 Aspekten zur Funktionalität unterschieden sich die Akzeptanzbewertungen außerdem in Abhängigkeit davon, ob die Probanden mit der einfachen oder der schwierigen Strecke begonnen hatten. Sowohl die Assistenzfunktion ($F(1,14) = 5.9$, $p < .05$) als auch der Assistenzinhalt ($F(1,14) = 8.4$, $p < .05$) wurden besser bewertet wenn die Probanden mit der leichten Aufgabe begonnen hatten und dann die schwierige Aufgabe bekamen. Möglicherweise war die Funktionalität vor allem für die Bewältigung der schwierigen Aufgabe bedeutsam und die Bewertung spiegelte den Eindruck der letzten Aufgabe (recency-Effekt) wider.

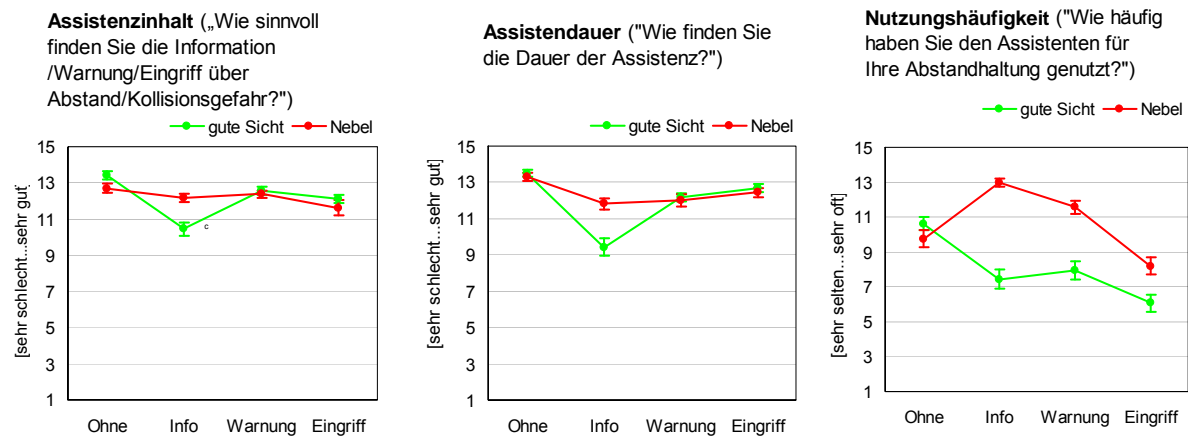


Abb. 5.21: Akzeptanzbewertungen hinsichtlich der Funktionalität. Dargestellt sind die Bewertungen von Assistenzinhalt, Assistenzdauer und Nutzungshäufigkeit. Eine Bewertung mit 15 stellt die beste Beurteilung dar.

Gestaltung

Tabelle 5.6 zeigt die signifikanten und tendenziell signifikanten Variablen zur Gestaltungsbewertung.

Tab. 5.6: Variablen zur Akzeptanzbewertung der Gestaltung der Assistenzsysteme. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?	.050	.064	.050
Wie gefällt Ihnen die grafische bzw. grafische und akustische bzw. haptische, visuelle und akustische Gestaltung des Assistenten? (Benutzeroberfläche)	.038	.680	.603
Wie gefällt Ihnen der Zeitpunkt, zu dem der Assistent beginnt, das vorausfahrende Fahrzeug anzuzeigen bzw. zu warnen bzw. einzugreifen? (Nur Info, Warnung, Eingriff)	.663	.052	.618
Wie gefallen Ihnen die Abstufungen der Anzeige? (Nur Tacho und Info)	.024	.830	.214
Wie finden Sie es, dass die Information visuell bzw. visuell und auditiv bzw. visuell, auditiv und haptisch dargeboten werden? (Sinneskanal)	.496	.196	.433
Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen? (Informationsmenge)	.884	.524	.227

Die *Gesamtbewertung der Gestaltung* („Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?“) zeigte eine tendenzielle Interaktion ($F(3,42) = 2.6$, $p = .064$). Wie Abbildung 5.22 zeigt, wurde der Brems-Assistent etwa auf dem Niveau des Tachometer bewertet, während die Gestaltung des Info-Assistenten gerade bei guter Sicht etwas schlechter, aber immer noch mit „gut“

bewertet wurde. Bei der Bewertung der *Benutzeroberfläche* bewerteten die Probanden, wie ihnen die jeweils realisierte visuelle, akustische bzw. haptische Gestaltung gefiel. In diesem Aspekt zeigte sich ein Haupteffekt der Assistenzbedingung ($F(3,42) = 3.1, p < .05$). Wie Abbildung 5.22 zeigt, wurde die Benutzeroberfläche des Brems-Assistenten etwa so gut bewertet wie die des Tachometers, während die grafische Oberfläche des Info-Assistenten schlechter, aber immer noch im oberen Skalenbereich bewertet wurde.

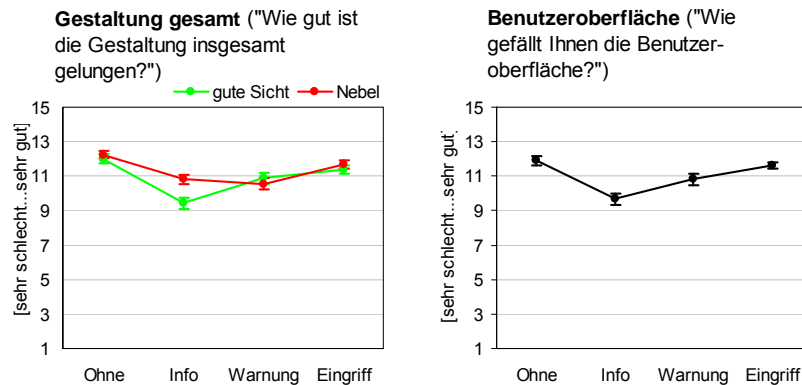


Abb. 5.22: Akzeptanzbewertungen der Gestaltung insgesamt und der Benutzeroberfläche. Eine Bewertung mit 15 stellt die beste Beurteilung dar.

Als weiterer Gestaltungsaspekt wurde der *Aktivitätsbeginn* der Assistenten bewertet. Beim Info-Assistenten sollten die Probanden den Zeitpunkt beurteilen, zu dem das Führungsfahrzeug dargestellt wurde, beim Warn-Assistenten den Warnzeitpunkt bzw. beim Brems-Assistenten den Eingriffszeitpunkt. Beim Tacho erfolgte keine Bewertung, da dieser kontinuierlich aktiv war. Der Aktivitätsbeginn zeigte eine tendenzielle Interaktion ($F(2,28) = 3.3, p = .052$) von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung. Ein mittlerer Skalenwert stellte die optimale Bewertung dar. Wie Abbildung 5.23 zeigt, weicht der Info-Assistent am ehesten von diesem Optimum ab und wird im Grenzbereich zwischen „genau richtig“ und „zu spät“ wahrgenommen. Beim Tachometer und dem Info-Assistenten bewerteten die Probanden außerdem, wie Ihnen die *Abstufungen* gefielen, in denen über die Geschwindigkeit bzw. den das Führungsfahrzeug informiert wurde. Diese Bewertung zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(1,14) = 6.3, p < .05$) und wurde, wie Abbildung 5.23 zeigt, für den Tacho als feiner abgestuft bewertet als für Info-Assistenten, jedoch lagen beide im optimalen Bereich.

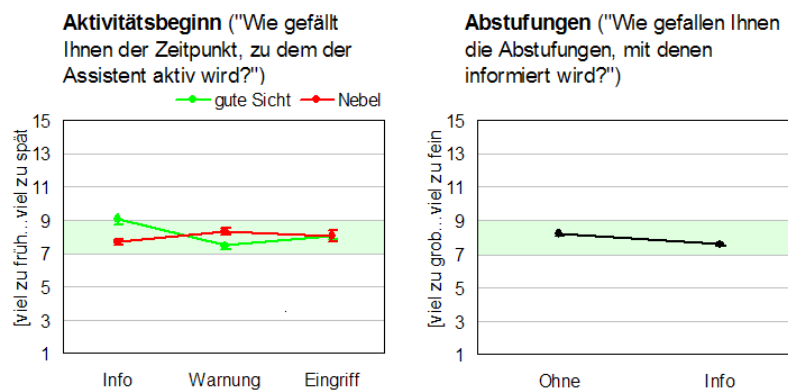


Abb. 5.23: Akzeptanzbewertungen zur Gestaltung. Dargestellt sind die Bewertung des Aktivitätsbeginns (links) und der Abstufungen (rechts). Die beste Beurteilung lag im mittleren Skalenbereich (grün unterlegt).

Als weitere Gestaltungsaspekte bewerteten die Probanden den mit dem Assistenzsystem angesprochenen *Sinneskanal* (z.B. „Wie sinnvoll finden Sie, dass die Information visuell dargestellt wird?“) und die *Informationsmenge* („Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen?“). In beiden Aspekten gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Assistenzbedingungen. Die verwendeten Sinneskanäle wurden im Skalenbereich „gut“ und die Informationsmenge im Skalenbereich „genau richtig“ bewertet. In einem Gestaltungsaspekt wurden die Assistenzsysteme in Abhängigkeit von den Aufgabenanforderungen unterschiedlich bewertet. Die Gesamtbewertung der Gestaltung zeigte einen tendenziellen Haupteffekt der Aufgabenschwierigkeit ($F(1,14) = 4.6$, $p = .05$) und fiel bei den Nebelfahrten besser aus als bei guter Sicht.

Benutzerfreundlichkeit

Tabelle 5.7 zeigt die signifikanten und tendenziell signifikanten Variablen zur Bewertung der Benutzerfreundlichkeit.

Tab. 5.7: Variablen zur Akzeptanzbewertung der Benutzerfreundlichkeit. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie bewerten Sie die Benutzerfreundlichkeit insgesamt?	.149	.215	.829
Den Umgang mit dem Assistenzsysteme zu erlernen ist... (Erlernbarkeit)	.328	.464	.167
Wie schwierig finden Sie es, den Assistenten zu benutzen? (Nutzbarkeit)	.151	.670	1.00
Wie klar und verständlich ist, was der Assistent tut? (Verständlichkeit)	.559	.477	.307

In den Fragen zur Benutzerfreundlichkeit bewerteten die Probanden, wie gut sie mit den Assistenzsystemen umgehen konnten. Die *Benutzerfreundlichkeit* insgesamt zeigte einen tendenziellen Haupteffekt der Assistenzfunktion. Wie Abbildung 5.24 zeigt, wurde der Info-Assistent tendenziell schlechter bewertet im Vergleich zum Tacho ($F(3,42) = 1.9$, $p = .149$),

jedoch lagen alle Bewertungen mindestens im Bereich „gut“. In den anderen Fragen zur Benutzerfreundlichkeit bewerteten die Probanden die *Erlernbarkeit*, *Nutzbarkeit* und *Verständlichkeit* der Assistenzsysteme. Hier wurden keine signifikant unterschiedlichen Bewertungen vorgenommen.

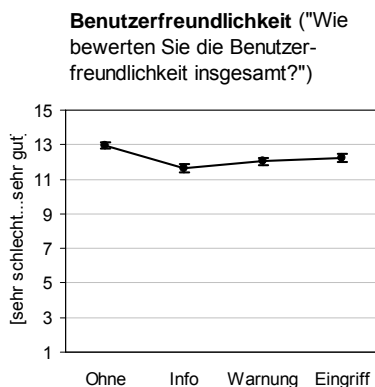


Abb. 5.24: Akzeptanzbewertung der Benutzerfreundlichkeit insgesamt. Eine Bewertung mit 15 stellt die beste Beurteilung dar.

Nützlichkeit

Tabelle 5.8 zeigt die signifikanten und tendenziell signifikanten Variablen zur Bewertung der Nützlichkeit.

Tab. 5.8: Variablen zur Akzeptanzbewertung der Nützlichkeit. Aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten, signifikante Ergebnisse sind dunkelgrau unterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse ($p < .15$) sind hellgrau unterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie nützlich ist der Assistent insgesamt, um gut zu fahren? (Nützlichkeit insgesamt)	.010	.015	.001
Fühlen Sie sich mit Assistent sicherer als ohne? (Sicherheit)	.022	.000	.013
Wie viel Spaß macht es, mit dem Assistenten zu fahren? (Fahrspaß)	.555	.014	.107
Ist das Abstandhalten durch den Assistenten einfacher oder schwieriger geworden? (Entlastung)	.507	.046	.003
Wie sehr hat sich die Abstandskontrolle durch den Assistenten verändert? (Leistung)	.536	.008	.002
Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert? (Kontrolle)	.004	.005	.012
Wie sehr hat Sie das Assistenzsystem beim Fahren abgelenkt? (Ablenkung)	.001	.349	.469
Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten? (Vertrauen)	.011	.320	.057

In den Fragen zur Nützlichkeit sollte bewertet werden, wie nützlich die Assistenten für die Fahraufgabe waren. Die *Nützlichkeit insgesamt* („Wie nützlich ist der Assistent insgesamt,

um gut zu fahren?“) zeigte eine Interaktion von Assistenzbedingung und Aufgabenanforderung ($F(3,42) = 3.9, p < .05$). Wie Abbildung 5.25 zeigt, wurden bei Nebel alle „neuen“ Assistenzsysteme als etwas weniger nützlich im Vergleich zum Tacho bewertet. Bei guter Sicht fiel der Info-Assistent auf, da er als weniger nützlich als die anderen Assistenten wahrgenommen wurde. Als weiteren Aspekt bewerteten die Probanden den *Sicherheitsgewinn* („Fühlen Sie sich mit Assistent sicherer als ohne?“) durch das Assistenzsystem. Hier zeigte sich eine Interaktion ($F(3,42) = 9.9, p < .001$) in der Form, dass bei der anspruchsvollen Nebelfahrt alle Assistenten als gleichermaßen sicherheitserhöhend bewertet wurden. Bei guter Sicht fiel wiederum der Info-Assistent auf, da er im Vergleich zu den anderen Assistenten keinen Sicherheitsgewinn bot. Abbildung 5.25 zeigt die durchschnittlichen Bewertungen. Die Bewertung des *Fahrspaßes* („Wie viel Spaß macht es, mit dem Assistenten zu fahren?“) zeigte ebenfalls eine Interaktion ($F(3,42) = 4.0, p < .05$). Wie in Abbildung 5.25 dargestellt, boten auch hier alle Assistenten bei Nebel den gleichen Fahrspaß, während bei guter Sicht der Info-Assistent weniger Fahrspaß vermittelte.

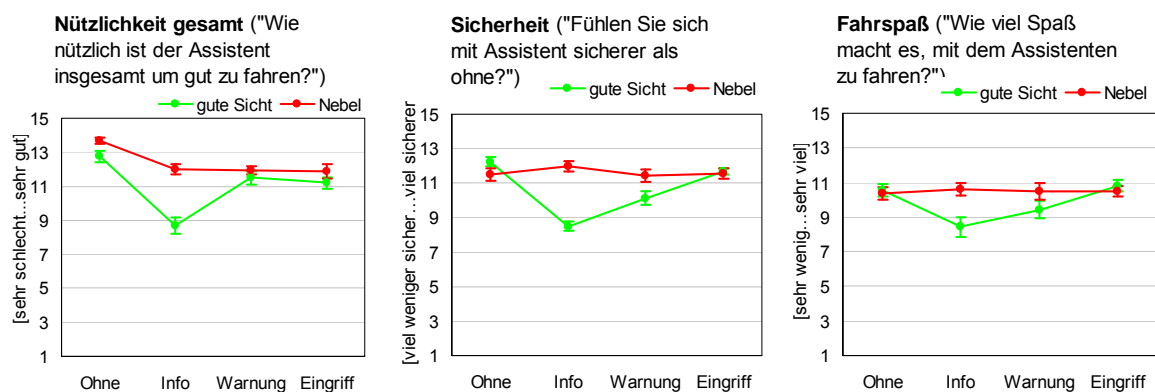


Abb. 5.25: Akzeptanzbewertungen zur Nützlichkeit. Dargestellt sind das Gesamturteil (links), die Bewertung der Sicherheit (Mitte) und des Fahrspaßes (rechts). Eine Bewertung mit 15 stellte die beste Bewertung dar.

In anderen Aspekten wurde der Info-Assistent gerade bei der anspruchsvollen Nebelfahrt als nützlicher wahrgenommen als die anderen Assistenten. So zeigte die Bewertung der *Entlastung* („Ist das Abstandhalten durch den Assistenten einfacher oder schwieriger geworden?“) eine Interaktion von Assistenzbedingung und Aufgabenanforderung ($F(3,42) = 2.9, p < .05$). Wie Abbildung 5.26 zeigt, entlastete der Info-Assistent bei Nebel im Vergleich zum Tacho und zum Eingriff. Ebenso zeigte die Bewertung der *Leistung* („Wie sehr hat sich die Leistung verändert?“) eine Interaktion ($F(3,42) = 4.4, p < .05$). Wie Abbildung 5.26 zeigt, konnten die Probanden bei Nebel mit dem Info- und dem Warn-Assistenten eher ihre Leistung verbessern als sie dieses mit dem Tacho konnten. Auch die Bewertung der *Kontrolle* („Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert?“) zeigte eine Interaktion ($F(3,42) = 4.9, p < .05$). Bei Nebel hatten die Fahrer mit dem Info- und Warn-Assistenten etwa gleich viel Kontrolle wie mit dem Tacho, während die Kontrolle mit dem Eingriff geringer war. Bei guter Sicht verschaffte der Info-Assistent jedoch keine zusätzliche Kontrolle.

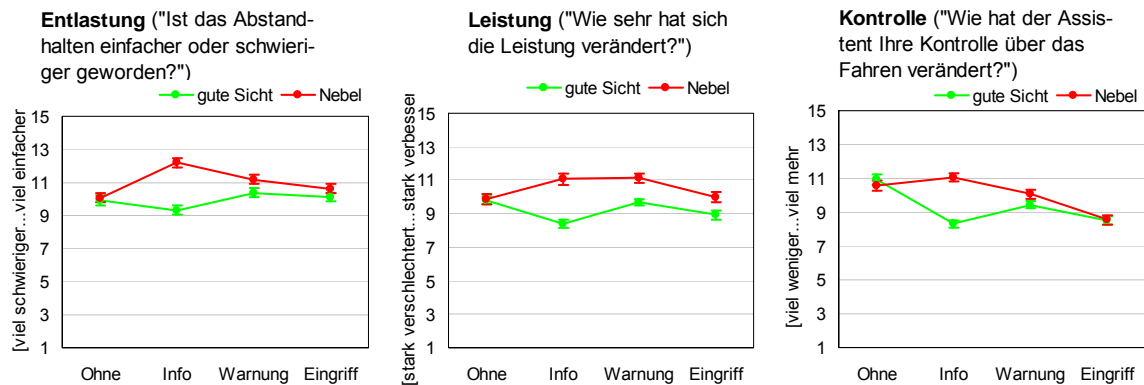


Abb. 5.26: Akzeptanzbewertungen zur Nützlichkeit. Dargestellt sind die Bewertung der Entlastung (links), Leistung (Mitte) und Kontrolle (rechts). Eine Bewertung mit 15 stellte die beste Bewertung dar.

In 2 weiteren Aspekten zur Nützlichkeit zeigten sich Haupteffekte der Assistenzbedingung. Bei der Bewertung der *Ablenkung* („Wie sehr hat Sie das Assistenzsystem abgelenkt?“) wurde der Info-Assistent als ablenkender empfunden als die anderen Assistenten ($F(1,7, 23.9) = 9.9, p < .05$). Bei der Bewertung des *Vertrauens* („Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten?“) genoss der Tachometer mehr Vertrauen als die anderen Assistenten ($F(3,42) = 4.2, p < .05$). Die mittleren Bewertungen zu Ablenkung und Vertrauen sind in Abbildung 5.27 dargestellt.

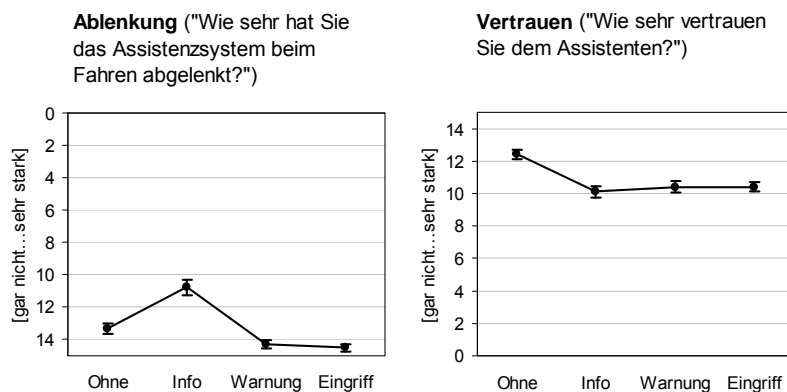


Abb. 5.27: Akzeptanzbewertungen zur Nützlichkeit. Dargestellt sind die Bewertung der Ablenkung (links) und des Vertrauens (rechts). Eine Bewertung mit 15 stellte die beste Bewertung dar.

Einige Aspekte zur Nützlichkeit wurden in Abhängigkeit von der Aufgabenschwierigkeit unterschiedlich bewertet. Haupteffekte der Aufgabenanforderungen zeigten sich bei der Gesamtbewertung ($F(1,14) = 16.4, p < .05$), der Sicherheit ($F(1,14) = 8.1, p < .05$), Entlastung ($F(1,14) = 12.4, p < .05$) und Kontrolle ($F(1,14) = 8.3, p < .05$). Tendenzielle Haupteffekte zeigten sich beim Vertrauen ($F(1,14) = 4.3, p = .057$) und beim Fahrspaß ($F(1,14) = 2.9, p = .107$). Bei der schwierigen Nebelfahrt waren die Assistenten im Vergleich zur Fahrt bei guter Sicht nützlicher, erhöhten die Sicherheit, entlasteten stärker, ließen mehr Kontrolle beim Fahrer und genossen tendenziell mehr Vertrauen und vermittelten mehr Spaß.

Vergleichsfragebogen

Im Vergleichsfragebogen zur Akzeptanz wurden die Assistenzsysteme direkt durch eine Platzvergabe von 1 (bestes System) bis 3 (schlechtestes System) miteinander verglichen. Bei guter Sicht wurde keiner der Assistenten in Bezug auf Funktionalität, Gestaltung, Benut-

zerfreundlichkeit, Nützlichkeit oder im Gesamturteil präferiert. Bei Nebel wurde der Info-Assistent wegen seiner Funktionalität ($X^2(2) = 8.3$, $p < .01$) bevorzugt und tendenziell wegen seiner Nützlichkeit ($X^2(2) = 4.6$, $p = .09$), siehe Abbildung 5.28. Die Käuferwägung war für Fahrten mit guter Sicht mit jeweils 5 Interessenten pro Assistenzsystem ausgeglichen (eine Versuchsperson würde kein System kaufen), während für Fahrten bei Nebel jeweils 6 Personen den Info- oder Warn-Assistenten erwerben würden und 4 Personen den Brems-Assistenten. Tendenzuell würden die Versuchspersonen für den Brems-Assistenten mit Euro 440 mehr Geld bezahlen als für den Info-Assistenten (Euro 296) oder den Warn-Assistenten (Euro 283) ($F(1.4, 20.3) = 3.2$, $p = .07$).

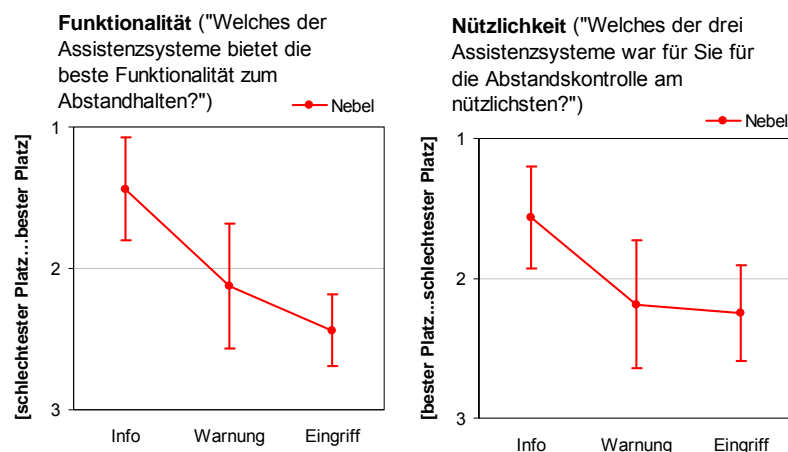


Abb. 5.28: Vergleichende Akzeptanzbewertungen der Assistenzsysteme im Vergleichsfragebogen. Dargestellt sind die Bewertungen zur Funktionalität (links) und Nützlichkeit (Mitte), bei denen Plätze von 1 bis 3 für die Assistenzsysteme vergeben wurden.

Zusammenfassung der Akzeptanzbewertungen

Die Ergebnisse der Akzeptanzbewertungen lassen sich folgendermaßen für die einzelnen Assistenten zusammenfassen. Die wesentlichen Vorzüge des Info-Assistenten lagen in der höheren entlastenden und leistungssteigernden Wirkung im Vergleich zum Tacho. Gerade bei der anspruchsvollen Nebelfahrt fiel den Probanden die Fahraufgabe mit dem Info-Assistenten leichter und sie konnten ihrer Ansicht nach gleichzeitig den Abstand besser kontrollieren als mit dem Tacho. Die Kontrolle über das Fahren beließ der Info-Assistent dabei ebenso weitgehend beim Fahrer wie der Tacho. Dementsprechend wurde der Info-Assistent bei Nebel am häufigsten genutzt und in der vergleichenden Gesamtbewertung in Bezug auf Funktionalität und Nützlichkeit favorisiert. Auffällig war, dass diese positiven Wirkungen des Info-Assistenten nur bei der Nebelfahrt auftraten und er umgekehrt bei guter Sicht in etlichen Aspekten schlechter als die anderen Assistenten beurteilt wurde. So führte er beispielsweise nicht zu einer Leistungsverbesserung und die Probanden fühlten sich auch nicht sicherer als ohne. Diese neutrale Wirkung lag möglicherweise daran, dass er bei guter Sicht eher redundante Informationen lieferte, die auch in der Umwelt direkt wahrgenommen werden konnten. Bei Nebel lieferte er hingegen die Information, die in der Umwelt nicht sofort sichtbar war und konnte dadurch die Fahraufgabe erleichtern. Ein Nachteil des Info-Assistenten lag in seiner ablenkenden Wirkung. Gleichzeitig wurden seine umfangreichere Informationsmenge und der genutzte visuelle Sinneskanal jedoch nicht schlechter bewertet als bei den anderen Assistenten. Möglicherweise wurde die visuelle und kontinuierliche Information also durchaus als situationsadäquat empfunden. Die ablenkende Wirkung sollte daher nicht durch Reduzie-

rung der Informationsmenge verringert werden, sondern könnte dadurch reduziert werden, dass der Assistent durch eine adaptive Gestaltung in weniger Situationen aktiv würde. Eine weitere Schwachstelle des Info-Assistenten betraf die Gestaltung der grafischen Benutzeroberfläche, die jedoch noch als „mittel“ bis „gut“ bewertet wurde. Leider gaben die anderen Gestaltungsbewertungen keinen weiteren Aufschluss über Verbesserungsmöglichkeiten.

Der Warn-Assistent verbesserte nach Meinung der Probanden die Leistung bei der Abstandskontrolle ähnlich gut wie der Info-Assistent. Er entlastete fast so gut und beließ dem Fahrer fast so viel Kontrolle über das Fahren wie der Info-Assistent. Der Warn-Assistent wurde bei Nebel oft genutzt, jedoch weniger häufig als der Info-Assistent. Ein Vorteil war seine geringe ablenkende Wirkung. Im Vergleich der 3 „neuen“ Assistenzsysteme wurde der Warn-Assistent bei Nebel mit Platz 2 bewertet.

Der Brems-Assistent ermöglichte bei Nebel weder eine bessere Abstandskontrolle als der Tacho, noch eine höhere Entlastung. Er nahm dem Fahrer die meiste Kontrolle über das Fahren und wurde am wenigsten häufig von allen Assistenten genutzt. Seine Vorteile waren die geringe ablenkende Wirkung und die Gestaltung der Benutzeroberfläche. Insgesamt wurde er mit Platz 3 bewertet.

Der Tacho genoss von allen Assistenzsystemen das meiste Vertrauen. Er wurde bei guter Sicht und bei Nebel fast gleichermaßen häufig genutzt. Wahrscheinlich war er unabhängig von den variierten Aufgabenanforderungen generell hilfreich, während die Unterstützung der neuen Assistenten stärker auf die Anforderungen der Situation einging und sie in der schwierigen Situation entsprechend häufiger genutzt wurden.

5.3 Diskussion

Nach einer kurzen Wiederholung der Fragestellung wird zusammengefasst, welche Ergebnisse sich hinsichtlich der Anforderungen, des Fahrverhaltens, der Beanspruchung und der Systemakzeptanz zeigten. Anschließend werden die Assistenzsysteme in ihrer Wirkung bei der dargebotenen Fahraufgabe verglichen, um die Frage nach der geeigneten Assistenzfunktion zu beantworten.

Die Versuchspersonen hatten in diesem Versuch die Aufgabe, einer Landstraße zu folgen und näherten sich wiederholt Fahrzeugen mit niedriger Geschwindigkeit an. Die Aufgabenanforderungen wurden durch unterschiedliche Sichtweiten variiert. Bei Fahrten mit guter Sicht war das Führungsfahrzeug weithin sichtbar, bei Fahrten mit Nebel jedoch erst bei einer Distanz von etwa 55 m. Die eingeschränkte Sicht sollte den Fahrern die Wahrnehmung der fahrrelevanten Informationen erschweren. Unterstützung erhielten die Fahrer durch einen Info-, einen Warn- oder einen Brems-Assistenten oder sie fuhren unassistiert. Der Info-Assistent unterstützte die Informationsaufnahme des Fahrers durch die kontinuierliche Anzeige des Fahrbahnbereichs und möglicher Führungsfahrzeuge und war daher am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt. Als Ziel der Studie sollte ermittelt werden, welche Assistenzfunktion die beste Unterstützung bei Anforderungen im Bereich der Informationsaufnahme darstellte. Anhand der Wirkung des Info-Assistenten sollte es außerdem zur Klärung der Gesamtfragestellung beitragen, ob eine Abstimmung der Assistenzfunktion mit den Aufgabenanforderungen sinnvoll ist.

Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Aufgabenanforderungen der Fahrten bei guter Sicht und bei Nebel vor allem in zeitlicher und mentaler Hinsicht unterschieden. Das bedeutete, dass die Fahrer bei Nebel schneller reagieren mussten, um den Abstand zu halten, und dass

sie achtsamer sein mussten. In Bezug auf die Informationsverarbeitungsprozesse empfanden die Probanden die Informationsaufnahme und die Handlungsausführung bei der Nebelfahrt als schwieriger, wobei beides bei Nebel nur im mittleren Schwierigkeitsbereich lag. Die Aufgabenanforderungen konnten aus Sicht der Probanden alle 3 Assistenzsysteme im Vergleich zur unassistierten Fahrt reduzieren. Darüber hinaus konnte der Info-Assistent die zeitlichen und körperlichen Anforderungen noch deutlicher gegenüber den anderen Assistenten senken. Vor allem erforderte der Info-Assistent ein weniger zügiges Reagieren auf das Führungsfahrzeug im Vergleich zu den anderen Assistenten oder ohne Assistenz. Der Eindruck der aufgrund der Sichtbedingungen oder genutzten Assistenzsysteme unterschiedlichen Anforderungen wurde allerdings durch Messung der physiologischen Beanspruchung nicht bestätigt. Möglicherweise lag dies an der grundsätzlich entlastenden Wirkung aller Assistenten. Allerdings zeigten sich Unterschiede zwischen den verschiedenen Phasen des Fahrens, da die Annäherungsmanöver beanspruchender waren als die Phasen des unabhängigen Fahrens.

Das Fahrverhalten wurde getrennt für die mit beiden Phasen verbundenen unterschiedlichen Fahraufgaben ausgewertet. In den Phasen unabhängigen Fahrens befand sich kein Führungsfahrzeug vor den Probanden, entsprechend wurde noch kein Führungsfahrzeug von den Assistenten erfasst. Der Info-Assistent zeigte dann die freie Fahrbahn an. Während des Annäherungsprozesses mussten die Probanden ihr Fahrverhalten an das jeweilige Führungsfahrzeug anpassen. In dieser Phase wurden alle Assistenten aktiv.

Das Fahrverhalten wurde in beiden Phasen durch den Info-Assistenten am wirksamsten unterstützt. Während des unabhängigen Fahrens erlaubte er eine gleichmäßige Geschwindigkeitswahl, wahrscheinlich weil er die Fahrer im Unterschied zu den anderen Assistenten darüber informierte, dass sich kein Fahrzeug vor ihnen auf der Fahrspur befand. Beim Annähern zeigte der Info-Assistent das Führungsfahrzeug an, bevor es bei Nebel für die Fahrer selbst sichtbar war. Dadurch konnten sich die Fahrer wesentlich früher auf das Annäherungsmanöver vorbereiten, hatten dadurch früher auf eine geringere Geschwindigkeit verzögert und näherten sich schließlich dem Führungsfahrzeug nicht so dicht an wie ohne Assistenz oder mit dem Brems-Assistenten. Durch die frühzeitige Verhaltensanpassung war es außerdem nicht nötig, so stark und so schnell zu bremsen wie in den anderen Bedingungen. Der Info-Assistent erlaubte somit bei Nebel ein ähnliches Annäherungsverhalten wie bei guter Sicht, bei der die Fahrer bereits in der Phase des unabhängigen Fahrens ihre Geschwindigkeit angepasst hatten. Ohne Assistenz bzw. mit den anderen Assistenten konnten die Fahrer bei Nebel dagegen erst in der Phase des Annäherungsmanövers ihr Verhalten anpassen. Die Nutzung des Info-Assistenten zur Verhaltensantizipation bestätigte sich in den Interviews. Dort gaben die Probanden an, den Info-Assistenten als Ersatzinformationsquelle, zur Sicht-erweiterung und als Vorwarnung für das Erscheinen des Führungsfahrzeugs bzw. zur Vorbereitung auf das Bremsen genutzt zu haben. Außerdem erklärten sie, dass der Info-Assistent ein sanftes und ruhiges Bremsen erlaubt hatte und sich somit der Nutzen des Info-Assistenten nicht nur auf die Informationsaufnahme beschränkte, sondern bis hin zur Handlungsausführung erstreckte.

Der Warn-Assistent aktivierte die Fahrer ebenfalls vor dem Sichtzeitpunkt für das Annäherungsmanöver, wodurch sie ähnlich gute Abstände einhalten konnten wie mit dem Info-Assistenten. Allerdings erlaubte der Warn-Assistent keine antizipative Geschwindigkeitsanpassung, so dass sich die Fahrer dem Führungsfahrzeug wesentlich schneller annäherten als mit dem Info-Assistenten. Die Situationen wurden daher kritischer und erforderten ein

zügigeres und stärkeres Bremsverhalten. Diesem Fahrverhalten entsprachen die Interviewaussagen zur Nutzung des Warn-Assistenten. Die Probanden gaben an, den Warn-Assistenten als Unterstützung für die Bremsentscheidung und zur Verbesserung des Reaktionsvermögens genutzt zu haben. Damit lag der Zeitpunkt der Unterstützung auch aus Sicht der Probanden näher an der Bremshandlung als beim Info-Assistenten. Ebenso wie der Info-Assistent wurde auch der Warn-Assistent als nützlich für die Handlungsausführung empfunden, da er die notwendige Bremsstärke angab und den Bremsbeginn anzeigte.

Der Brems-Assistent ermöglichte kein sichereres Fahrverhalten im Vergleich zur Fahrt ohne Assistenz. Sekundenabstände und TTC reduzierten sich auf ähnliche Werte. Bei Nebel konnten die Fahrer erst aktiv werden, nachdem sie das Führungsfahrzeug gesehen hatten. Teilweise wurden sie jedoch noch später aktiv als bei unassistierter Fahrt. Die Geschwindigkeit konnte daher nicht frühzeitig reduziert werden, so dass die Fahrer ebenso zügig und stark bremsen mussten wie bei der unassistierten Fahrt. Diese Bremshandlung musste in zahlreichen Situationen noch durch den Brems-Assistenten verstärkt werden, weil die durch den Fahrer aufgebrachte Bremsstärke nicht ausreichte. Entsprechend wurde in den Interviews der Nutzen des Assistenten beschränkt auf die Handlungsausführung gesehen.

Die Akzeptanzbewertungen ergänzten die Erkenntnisse aus den Fahrdaten und den Interviews. Die Probanden bewerteten den Info-Assistenten im Vergleich aller Assistenten am besten und nutzten ihn am häufigsten. Er entlastete am stärksten, erleichterte die Abstandskontrolle am meisten und ließ dabei die Kontrolle beim Fahrer. Die Fahrer empfanden das kontinuierliche Informieren über die Verkehrssituation als geeignet, allerdings nur in der Nebelsituation wenn ihnen selbst die Information nicht vorlag. Der Warn-Assistent führte nach Meinung der Probanden zu einer ähnlichen Entlastung und Leistungsverbesserung wie der Info-Assistent, ohne dabei so stark abzulenken. Er wurde mit Platz 2 bewertet. Der Brems-Assistent wurde weder entlastend noch leistungsverbessernd und somit nicht als Unterstützung bei der Bewältigung der Fahraufgabe wahrgenommen. Er nahm den Fahrern am meisten Kontrolle, lenkte aber wenig ab.

Fasst man die Ergebnisse für jedes Assistenzsystem zusammen, so lässt sich die Wirkung der Systeme für die Bewältigung der Fahraufgabe vergleichen und die Frage nach der geeigneten Assistenzfunktion beantworten. Die Variation der Aufgabenanforderungen anhand des Nebels erschwerte die Informationsaufnahme für die Probanden und erforderte vor allem, schnell zu reagieren wenn ein Fahrzeug vor dem eigenen sichtbar wurde und aufmerksam zu fahren.

Der Info-Assistent erlaubte eine frühzeitige Geschwindigkeitsanpassung an die Verkehrssituation und konnte daher die hohen zeitlichen Anforderungen der Situation reduzieren. Durch dieses frühe Einwirken des Info-Assistenten bereits bei der Informationsaufnahme war anscheinend auch für Entscheidung und die Handlungsausführung mehr Zeit vorhanden bzw. musste das Bremsen nicht so kräftig ausgeführt werden. Daher wurde wahrscheinlich der Info-Assistent auch als körperlich entlastend wahrgenommen, obwohl es sich um einen rein visuellen Assistenten handelte. Wichtig für die unterstützende Wirkung schien jedoch, dass der Info-Assistent nur dann aktiv war, wenn der Fahrer die Information nicht direkt in der Umwelt wahrnehmen konnte. Dies wäre realisierbar durch eine adaptive Gestaltung des Assistenten, indem er nur bei schlechten Sichtbedingungen aktiv wäre und könnte gleichzeitig die bemängelte ablenkende Wirkung des Assistenten reduzieren.

Der Warn-Assistent wurde von den Probanden in den Akzeptanzbewertungen als entlastend und leistungsverbessernd empfunden. Er stellte vor allem im Unterschied zum Info-Assistenten keine Ablenkung dar. Das Fahrverhalten unterschied sich jedoch kaum zum Fahrverhalten bei unassistierter Fahrt. Die Probanden konnten erst sehr viel später reagieren als mit dem Info-Assistenten und nur etwas früher als ohne Assistenz. Durch die Aufforderung zur Bremshandlung konnte der Warner zwar geringe Abstände zum Führungsfahrzeug vermeiden, aber er ermöglichte den Fahrern auch keine antizipative Geschwindigkeitsanpassung an die Situation. Daher mussten die Fahrer zügig und kräftig bremsen. Entsprechend konnte der Warner wesentlich weniger zeitlich und körperlich entlasten als der Info-Assistent.

Der Brems-Assistent wurde von den Probanden in den Akzeptanzbewertungen von den neuen Systemen am schlechtesten platziert. Die Fahrleistung unterschied sich kaum von der bei unassistierter Fahrt. Die Fahrer reagierten sogar noch etwas später auf das Führungsfahrzeug als wenn sie ohne Assistenz fuhren. Möglicherweise lag das daran, dass die kognitive Verarbeitung bei der Fahrt mit System zeitaufwändiger war als wenn die Fahrer auf sich gestellt waren. Möglicherweise überkompensierten sie aber auch die vermeintliche Sicherheit durch das System (Risikohomöostase). Entsprechend mussten die Fahrer mit dem Brems-Assistenten ebenso zügig und kräftig bremsen wie bei unassistierter Fahrt. In zahlreichen Situationen griff zusätzlich noch der Brems-Assistent ein, um die unzureichende Bremskraft des Fahrers zu verstärken. Trotz dieser Eingriffe wurden jedoch ähnlich niedrige Abstände und TTC erreicht und diese mit vergleichbarer Dauer beibehalten wie bei der unassistierten Fahrt. Entsprechend bewerteten die Fahrer den Brems-Assistenten weder als entlastend noch als leistungssteigernd.

Insgesamt stellte der Info-Assistent die wirksamste Unterstützung der Fahrer bei dieser Aufgabe dar, da er die Fahrer frühzeitig über das Führungsfahrzeug informierte und dadurch eine frühzeitige Anpassung an die Situation ermöglichte.

6 Querführung bei erschwerter Handlungsausführung: Studie 3

In dieser Studie hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, auf einer kurvigen Landstraße zügig und dabei so genau wie möglich in ihrer Fahrspur zu fahren. Wie im Theorieteil beschrieben, stellt die Variation der Kurvenradien eine geeignete Möglichkeit dar, die Aufgabenanforderungen im Bereich der Handlungsausführung zu variieren. Bei sinkenden Kurvenradien sind größere Lenkwinkel erforderlich, deren Umsetzung durch den Fahrer jedoch mit steigender Größe fehlerhaft wird. Dieser Fehler äußert sich darin, dass zunehmend vom idealen Lenkverhalten abgewichen wird. Diese Variation der Aufgabenanforderungen stellte die erste unabhängige Variable dar. Waren die Kurven in der leichten Strecke weit, so war der zu erwartende Lenkfehler gering. Waren die Kurven in der schwierigen Strecke eng, so fiel die Regulierung des adäquaten Lenkwinkels schwer. Zusätzlich wurden die Anforderungen der schwierigen Strecke erhöht, indem die Kurven streckenbedingt zügiger aufeinander folgten und die Geschwindigkeit mithilfe eines Tempomaten höher eingestellt war als in der leichten Aufgabe.

Unterstützung erhielten die Probanden bei jeder Fahrt alternativ durch einen Info-, Warn-, oder Lenk-Assistenten bzw. fuhren ohne Assistenz. Der Info-Assistent sollte die Wahrnehmung der Fahrzeugposition innerhalb der Spur als wesentliche fahrrelevante Information unterstützen. Der Warn-Assistent gab zusätzlich eine Lenkempfehlung, um ein Spurverlassen zu vermeiden, und sollte dadurch die Handlungsplanung unterstützen. Der Lenk-Assistent griff ein, wenn akut die Gefahr bestand, dass die Fahrer die Spur verließen, und sollte die Handlungsausführung unterstützen. Dadurch war der Lenk-Assistent am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt. Die Variation der Assistenzfunktion stellte die zweite unabhängige Variable der Studie dar und bestand unter Einbeziehung der unassistierten Bedingung aus 4 Stufen.

Als Ziel der Studie sollte ermittelt werden, welche der dargebotenen Assistenzfunktionen die beste Unterstützung bot, wenn die Handlungsausführung im Rahmen der Querführung für den Fahrer erschwert war. Die Ergebnisse sollten dadurch zur Klärung der Fragestellung beitragen, ob die mit den Aufgabenanforderungen abgestimmte Assistenzfunktion zur optimalen Unterstützung des Fahrers führte.

6.1 Methode

6.1.1 Aufgabe

Die Versuchspersonen sollten auf einer Landstraße fahren, die abwechselnd aus Kurven und Geraden bestand. Sie sollten dabei so genau wie möglich in ihrer Fahrspur fahren und nicht zu nah an die Fahrspurränder gelangen. Die Aufgabenanforderungen wurden durch die Streckengestaltung und die Geschwindigkeit variiert. Im Rahmen der Streckengestaltung sollten enge und zügig aufeinander folgende Kurven dafür sorgen, dass die schwierige Strecke mit starken Lenkaktivitäten verbunden war und daher die Handlungsausführung erschwert war. Die exakte Streckengestaltung wird in Kapitel 6.1.5 beschrieben. Um zu verhindern, dass die Versuchspersonen die unterschiedlichen Anforderungen der Strecke durch Anpassen ihrer Geschwindigkeit egalisierten, war die Geschwindigkeit durch Verwendung eines Tempomaten voreingestellt. Dieser sorgte für eine Geschwindigkeit von 120 km/h in der schwierigen Aufgabe und 60 km/h in der leichten Aufgabe. Die Geschwindigkeiten orientierten sich an den Vorgaben der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, die in Abhängigkeit der gewählten Geschwindigkeiten Mindestradien für Kurven definiert hat (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1995). Die Versuchspersonen

wurden angehalten, weder Gas noch Bremse zu betätigen, für eine sichere Fahrt zu sorgen und so genau wie möglich in ihrer Fahrspur zu fahren. Um sie zu einer guten Spurhaltung zu motivieren, erhielten sie zu Versuchsbeginn ein Punktekonto, von dem für schlechte Spurhaltung Punkte abgezogen wurden und dessen Stand am Ende des Versuchs mitgeteilt wurde.

6.1.2 Assistenzsysteme

Mit Ausnahme der unassistierten Fahrt wurden die Versuchspersonen bei jeder Fahrt durch ein Assistenzsystem unterstützt und erhielten entweder eine Information, eine Warnung oder einen Lenk-Eingriff. Die Assistenzsysteme unterschieden sich in ihrer Funktion, in ihrem Unterstützungsbeginn, ihrer Unterstützungsdauer und den genutzten sensorischen Kanälen.

Info-Assistent

Der Info-Assistent sollte die Wahrnehmung des Fahrers unterstützen, indem er auf fahrrelevante Informationen aufmerksam machte und zeigte daher bei dieser Aufgabe die momentane Position des Fahrzeugs in der Fahrspur an. Die sich daraus ergebenden Entscheidungen und Handlungen musste der Fahrer selbst treffen. Der Info-Assistent stellte somit die niedrigste Automatisierungsstufe dar. Die Information wurde durch ein Head-up Display (HUD) über dem Fahrzeugcockpit auf der Frontscheibe eingeblendet. Im HUD wurde ein schwarzes Rechteck angezeigt, das die Fahrspur repräsentierte. Innerhalb des schwarzen Rechtecks bewegte sich ein weißes horizontales Rechteck und repräsentierte das Fahrzeug und dessen Position in der Fahrspur. In beiden Rechtecken wurde mittig eine vertikale Linie angezeigt, die in einem Fall die Fahrspurmitte und im anderen Fall die Fahrzeugmitte anzeigte (siehe Abbildung 6.1). Lagen beide Linien übereinander, so befand sich das Fahrzeug in der Fahrspurmitte. Wich die Fahrzeugmitte von der Fahrspurmitte ab, so verdeutlichte der Assistent den Grad der Querablage. Der Fahrer erhielt somit eine visuelle Information über die aktuelle Abweichung des eigenen Fahrzeuges von der Fahrspurmitte. Die Anzeige der Querablage erfolgte in 15 Stufen und beinhaltete eine mittlere Stufe und jeweils 7 Stufen in Richtung der Fahrspurränder. Jede Stufe repräsentierte einen gleich großen Wertebereich der Querablage. Die äußeren beiden Anzeigestufen umschlossen bei beiden Fahrspurbreiten einen Fahrschlauch von 75% der Fahrspurbreite und signalisierten, dass sich die Fahrzeugseite nahe am Fahrspurrand befand. Die Querablage, bei der die äußerste Assistenzstufe angezeigt wurde, war in Vorversuchen ermittelt worden, da es wichtig war, dass die Assistenzanzeige mit der Wahrnehmung der Fahrer über ihre Position in der Spur abgestimmt war. Fuhren die Fahrer noch näher an den Fahrspurrand oder darüber hinaus, so wurde weiterhin die äußerste Anzeigestufe dargestellt. Zusammengefasst hatte der Info-Assistent die Funktion, den Fahrer kontinuierlich über seine Position in der Fahrspur zu informieren und nutzte ausschließlich die visuelle Sinnesmodalität.

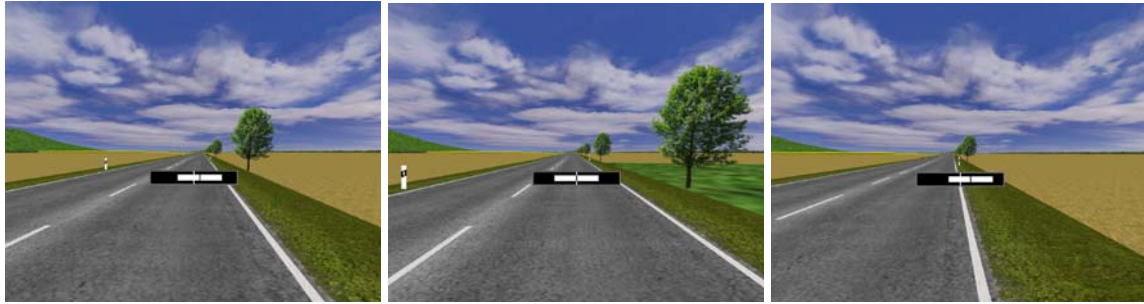


Abb. 6.1: Darstellung Info-Assistenten. In Abhängigkeit von der aktuellen Querablage wurden 15 verschiedene Positionen des Fahrzeugs symbolisiert. In der Abbildung sind eine linke, die mittlere und eine rechte Position dargestellt.

Warn-Assistent

Der Warnassistent war eine Erweiterung des Informationsassistenten, da er neben der Information auch noch eine Interpretation der Situation lieferte und damit die Entscheidung des Fahrers unterstützen sollte, bei einem drohenden Spurabkommen wieder in Richtung der Spurmitte zu lenken. Wie beim Info-Assistenten wurde anhand eines weißen und schwarzen Rechtecks in einem HUD die Position des eigenen Fahrzeuges auf der Fahrspur dargestellt. Zusätzlich gab es in den beiden äußeren Anzeigestufen ein rotes Signal auf der Seite des Assistenten, wo eine Spurüberschreitung drohte. Außerdem ertönte dann so lange ein Warn-ton aus der entsprechenden Richtung bis sich die Anzeigestufe änderte. Die Funktionalität des Warn-Assistenten bestand somit darin, den Fahrer über die momentane Position des Fahrzeuges in der Fahrspur zu informieren und beim Verlassen der Fahrspur zu warnen. Abbildung 6.2 zeigt den Warnassistenten beim Fahren des Fahrzeuges in der Fahrspurmitte und beim Abkommen von der rechten Fahrspur.



Abb. 6.2: Darstellung des Warn-Assistenten. Wie beim Info-Assistenten wurden in Abhängigkeit von der Querablage 15 verschiedene Positionen des Fahrzeugs symbolisiert. Zusätzlich erfolgte beim Warn-Assistenten eine visuelle und akustische Warnung beim Abkommen von der Fahrspur.

Lenk-Assistent

Der Lenkassistent griff in Abhängigkeit von der Querablage in die Lenkhandlung ein und stellte daher die weitreichendste Automatisierungsstufe dar. Der Eingriff erfolgte haptisch als Zusatzmoment auf dem Lenkrad. Die Eingriffsstärke wurde in Abhängigkeit von der Querablage generiert, so dass mit steigender Querablage eine zunehmende Gegenkraft spürbar wurde. Abbildung 6.3 zeigt die Stärke des Lenkmoments in Abhängigkeit von der Querablage. Bei einer Abweichung von 1 m nach links von der Fahrspurmitte wurde beispielsweise ein Zusatzmoment von 0,4 Nm auf das Lenkrad aufgebracht. In einem 40 cm breiten Fahr-

schlauch in der Fahrspurmitte gab es einen neutralen Bereich, in dem der Assistent nicht aktiv war. Zusätzlich zum Eingriff gab der Assistent beim Überfahren des rechten Fahrspurrandes eine hörbare Vibration auf das Lenkrad aus. Zusammengefasst hatte der Lenk-Assistent die Funktion, bei zunehmender Querablage in die Fahrhandlung einzugreifen und das Verlassen der Fahrspur auditiv und haptisch anzuzeigen.

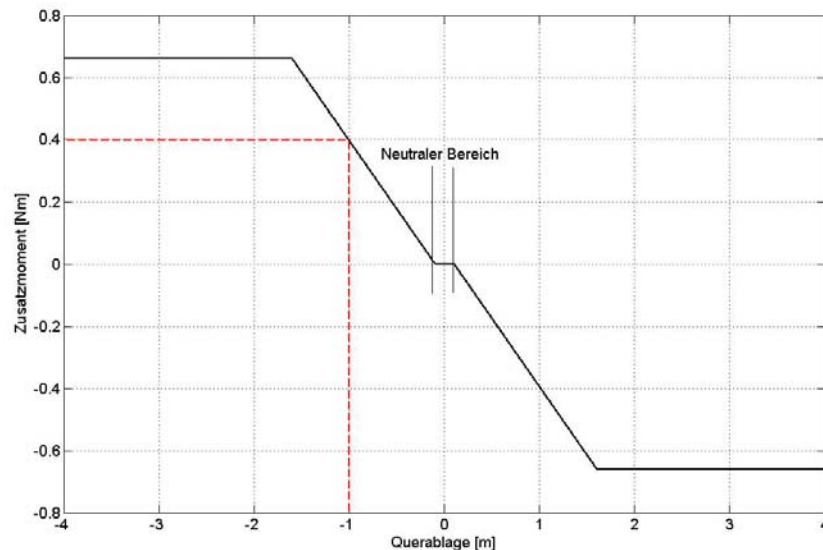


Abb. 6.3: Darstellung der Aktivität des Lenk-Assistenten. In einem 40 cm breiten Fahrschlauch um die Fahrspurmitte herum verhielt sich der Assistent neutral. Darüber hinaus wurde in Abhängigkeit von der Querablage ein Zusatzmoment auf das Lenkrad gegeben.

6.1.3 Versuchspersonen

An der Untersuchung nahmen 12 Versuchspersonen teil, davon 4 Frauen und 8 Männer. Der Altersdurchschnitt lag bei 36,0 Jahren ($SD = 7,3$), wobei die jüngste Versuchsperson 25 und die älteste 47 Jahre alt war. Die Probanden wurden per Zufall aus dem Testfahrerpool des Institutes für Verkehrssystemtechnik des DLR ausgewählt oder waren studentische Mitarbeiter des DLR. Es wurden nur Kandidaten zwischen 25 und 55 Jahren berücksichtigt, die seit mindestens 5 Jahren einen Führerschein besaßen. Dadurch sollte ein homogenes Fahrverhalten unter den Probanden sichergestellt werden. Die Teilnahme am Versuch war freiwillig und wurde mit 8 Euro pro Versuchsstunde vergütet. Keine der 12 Versuchspersonen besaß Vorkenntnisse über den Zweck des Versuchs.

Vor der Teilnahme an den Versuchsfahrten hatten alle Probanden ein vom Institut entwickeltes Testfahrertraining absolviert. Das Testfahrertraining beinhaltete Fahrten auf der Landstraße, in der Stadt und in Ortschaften und trainierte gängige Fahrmanöver im Cave, wie z.B. einer Straße folgen, eine Kreuzung durchfahren oder Abbiegen. Das Training dauerte je nach Versuchsperson zwischen 2 Stunden und 3 Stunden 15 Minuten. Bei 6 Versuchspersonen musste das Training aufgrund von auftretender Übelkeit vorzeitig abgebrochen werden. Diese 6 Probanden nahmen nicht am Versuch teil. Durch das Testfahrertraining konnten Übungseffekte und die Simulatorkrankheit während des Versuchs weitestgehend ausgeschlossen werden.

6.1.4 Versuchsplan und –ablauf

Der Versuch wurde im Virtual Reality Labor des DLR durchgeführt, das in Kapitel 3.3 beschrieben wurde. Die Probanden fuhren entweder unassistent oder mit den 3 unterschiedlichen Assistenzfunktionen sowohl die leichte als auch die schwierige Aufgabe. Es handelte sich um einen vollständig gekreuzten Versuchsplan mit Messwiederholung, so dass alle Versuchsbedingungen von jeder Versuchsperson wahrgenommen wurden. Die Versuchsfahrten fanden aufgrund der Versuchsdauer an zwei Tagen statt und dauerten pro Tag zwischen 2 Stunden 50 Minuten und 5 Stunden 30 Minuten. Am ersten Versuchstag wurden die unassistenten Fahrten und am zweiten die Fahrten mit Assistenzsystem durchgeführt. Tabelle 6.1 stellt den Ablauf eines Versuchstages dar. Zur Kontrolle von Zeiteffekten wurde ein Cross-Over-Plan verwendet, so dass eine Hälfte der Probanden mit der leichten und eine Hälfte mit der schwierigen Aufgabe begann. Mögliche Reihenfolgeeffekte wurden kontrolliert, indem die Reihenfolge der Versuchsbedingungen je Versuchstag nach den Prinzipien des Lateinischen Quadrates ausbalanciert war. Zusätzlich wurde am ersten Versuchstag vor Versuchsbeginn mit Hilfe eines PC-Programms eine physiologische Baselinemessung durchgeführt.

Tab. 6.1: Ablauf eines Versuchstages.

Zeit ↓	Einwilligungserklärung, Gesamtinstruktion, Fragebogen zum Befinden vor dem Versuch	
	Am ersten Versuchstag: Baselinemessung mit dem Physio-System	
	Trainingsstrecke	
	Simulator- fahrt, 4-mal, (einmal je Assistenzfunk- tion)	Lesen der Instruktion
		Übungsfahrt
		Versuchsfahrt
		Ausfüllen von Akzeptanzfragebogen und Schwierigkeitsfragebogen
	Vergleichsfragebogen der Akzeptanz	
	Fragebogen zum Befinden nach dem Versuch	

6.1.5 Strecke

Die Streckengestaltung war neben der vorgegebenen Geschwindigkeit ein wesentlicher Faktor der unterschiedlichen Aufgabenanforderungen. In der leichten Aufgabe waren die Kurvenradien groß, die Abschnitte zwischen den Kurven eher lang und die Fahrspur war breit. Die Kurvenradien betrugen im Mittel 700 m, so dass die Fahrer beim Durchfahren der Kurve eine Drehung um 16° vollzogen. Die Geraden zwischen den Kurven hatten eine mittlere Länge von 200 m und die Fahrspur war 3.5 m breit. In der schwierigen Aufgabe waren die Kurvenradien hingegen klein, die Kurven folgten nach kürzeren Geradenabschnitten aufeinander und die Fahrspur war schmal. Die Kurvenradien lagen dann im Mittel bei 450 m, so dass die Fahrer hier beim Durchfahren eine Drehung um 25° vollzogen. Die dazwischen liegenden Geradenabschnitte waren durchschnittlich 100 m lang und die Fahrspur war 3 m breit. Um eine Gewöhnung der Versuchspersonen an die Strecke zu vermeiden, gab es in beiden Anforderungsbedingungen auch Kurvenradien und Geradenlängen leicht unter und über dem angegebenen Mittelwert. Die Abfolge der verschiedenen Radien und Geradenlängen sowie der Vegetation am Fahrspurrand war zufällig. Die Kurvenlänge betrug in beiden Anforderungsbedingungen 200 m. Abbildung 6.4 zeigt Ausschnitte der Streckenprofile der leichten und schwierigen Aufgabenanforderung. Trotz der unterschiedlichen Geschwindigkei-

ten sollte die Fahrtzeit in beiden Aufgaben gleich lang sein, so dass die leichte Strecke aus 15 Kurven und die schwierige Strecke aus 39 Kurven bestand.

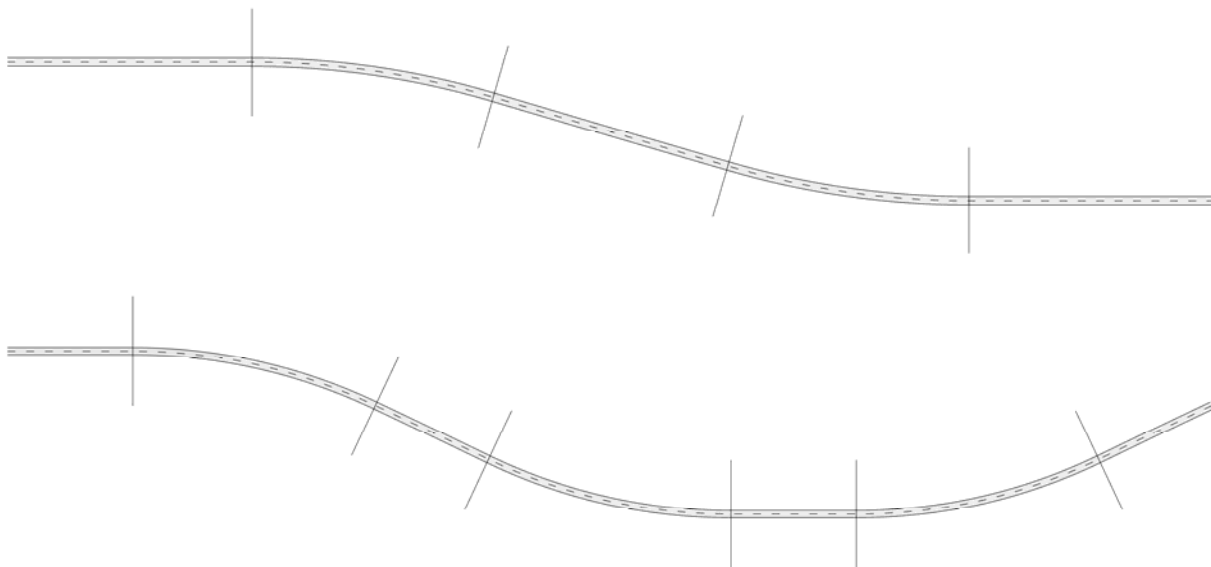


Abb. 6.4: Streckenprofil (Ausschnitte) der leichten und schwierigen Aufgabe. In der leichten Strecke (oben) waren die Kurvenradien größer als in der schwierigen Strecke (unten) und die Kurven folgten nicht so dicht aufeinander. Die Striche kennzeichnen die unterschiedlichen Geraden- bzw. Kurvensegmente.

6.1.6 Fragebogen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen

Mit Hilfe eines selbst erstellten Fragebogens wurde erfasst, wie die Aufgabenanforderungen von den Versuchspersonen bewertet wurden. Die Fragebögen wurden direkt nach jeder Fahrt ausgefüllt. Darin bewerteten die Versuchspersonen wie gut sie gefahren sind, wie sehr sie sich körperlich anstrengen mussten, wie hoch der Zeitdruck beim Lenken war und wie sehr sie aufpassen mussten. Diese Anforderungsaspekte orientierten sich an Fragen im NASA-TLX, die ebenfalls Bewertungen der Leistung und der körperlichen, zeitlichen und mentalen Anforderungen abfragen. Zusätzlich bewerteten die Probanden noch, wie schwierig und langweilig sie die Fahrt empfanden. Die Bewertung aller Anforderungsaspekte erfolgte anhand der bereits beschriebenen 15-stufigen Kategorienunterteilungsskala von Heller (Heller, 1982).

6.1.7 Fragebogen zur Akzeptanzbewertung

In einem selbst erstellten Fragebogen bewerteten die Versuchspersonen die Assistenzsysteme in Bezug auf ihre Gestaltung, Nützlichkeit und Funktionalität. Die Bewertung erfolgte anhand der bereits beschriebenen 15-stufigen Kategorienunterteilungsskala. Die Fragebögen wurden direkt nach jeder Fahrt ausgefüllt. Nach dem Versuch wurde in einem Vergleichsfragebogen eine Platzierung der Assistenzsysteme für die genannten 3 Bereiche vorgenommen.

6.2 Ergebnisse

Zur Untersuchung der Wirkung der Assistenzsysteme wurden objektive und subjektive Daten erhoben, die die Wirkung der Systeme aus verschiedenen Perspektiven betrachten. Wie in

den vorigen Experimenten wird zunächst beschrieben, welche Systeme aus Sicht der Probanden die Aufgabenanforderungen reduzieren konnten. Es folgt die Darstellung der objektiven Fahrleistung und der physiologischen Beanspruchung. Abschließend werden die Akzeptanzbewertungen der Probanden dargestellt. Wie bereits bei den Experimenten zur Längsführung beschrieben, wurde auf die Korrektur der kumulierten Fehlerwahrscheinlichkeiten verzichtet. Da sich im vorliegenden Experiment im Vergleich zu den Längsführungsexperimenten eindeutiger Effekte zeigten, werden signifikante Ergebnisse auf dem 5 % - Niveau bzw. tendenziell signifikante Ergebnisse auf dem 10 % - Niveau berichtet.

Zuvor wird dargestellt, inwieweit die Manipulation der unabhängigen Variablen Aufgabenanforderungen und Assistenzfunktion gelungen war.

6.2.1 Manipulationskontrolle

Zur Untersuchung der Fragestellung wurden als unabhängige Variablen die Aufgabenanforderungen und die Assistenzfunktion variiert. Mit der Manipulationskontrolle sollte überprüft werden, ob die dargebotenen Variablenausprägungen von den Probanden als unterschiedlich wahrgenommen wurden.

Bewertungen der Aufgabenanforderungen in den unassistenten Fahrten

Der Vergleich der Bewertungen der unassistenten Fahrten zeigte, in welchen Anforderungen sich die leichte und schwierige Aufgabe aus Sicht der Versuchspersonen unterschieden. Der Inhalt des Fragebogens ist in Kapitel 6.1.6 beschrieben. Vor der Auswertung wurden die Daten auf Ausreißer und Extremwerte geprüft. Es gab keine Ausreißer und Extremwerte. Die Auswertung erfolgte durch einen t-Test für abhängige Stichproben. Die Ergebnisse zeigten, dass die schwierige Aufgabe zu signifikant höheren zeitlichen ($t(10) = -10.2$, $p < .001$) und mentalen Anforderungen ($t(10) = -4.6$, $p < .05$) führte. Die körperlichen Anforderungen waren jedoch in der schwierigen Aufgabe nicht höher ($t(10) = -1.2$, $p = .26$). Abbildung 6.5 zeigt die Bewertung der zeitlichen und mentalen Anforderungen. Die Probanden empfanden die schwierige Aufgabe außerdem als weniger langweilig ($t(10) = 4.8$, $p < .001$), als insgesamt schwieriger ($t(10) = -5.8$, $p < .001$) und meinten, sie schlechter gelöst zu haben ($t(10) = 4.1$, $p < .05$).

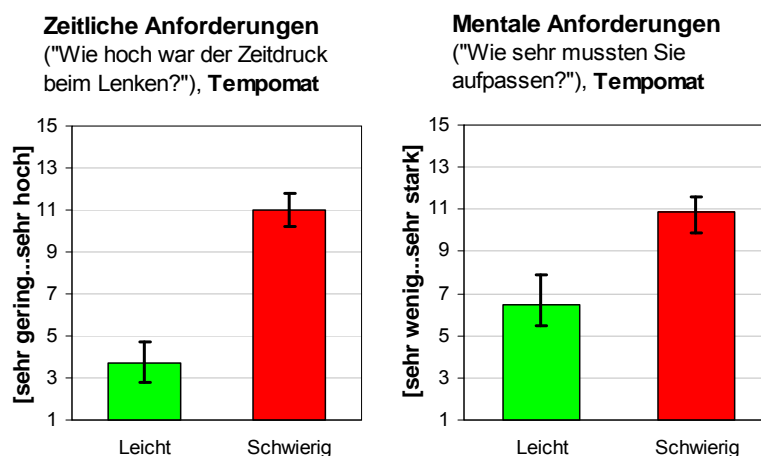


Abb. 6.5: Beurteilung der zeitlichen und mentalen Anforderungen in den unassistenten Fahrten mit vorgegebener Geschwindigkeit (Tempomat).

Aktivität der Assistenzsysteme

Als zweite unabhängige Variable wurde die Assistenzstrategie mit den Ausprägungen Information, Warnung und Eingriff variiert. Mit der Überprüfung der Assistenzaktivität sollte festgestellt werden, ob die Assistenten in allen Assistenzstufen aktiv waren. Als erstem Experiment der Versuchsreihe bestand in diesem Experiment technisch noch nicht die Möglichkeit, die Aktivitäten der Assistenten aufzuzeichnen. Daher wurde vor Versuchsbeginn empirisch sichergestellt, dass die verschiedenen Anzeigestufen bzw. der Lenkeingriff dann erfolgten wenn die entsprechenden Querablagen erreicht waren. In Abbildung 6.6 sind die Fahrzeitanteile der einzelnen Assistenzstufen dargestellt, abgeleitet anhand der Querablage aus den Fahrdaten. Bei Assistenzstufe 8 befand sich die Fahrzeugmitte im mittleren Fahrschlauch, der in der leichten Strecke 0.175 m und in der schwierigen Strecke 0.15 m breit war. Die anderen Stufen umfassten die Fahrzeitanteile von jeweils zwei symmetrisch um den mittleren Fahrschlauch liegenden Assistenzstufen. Die Abbildung zeigt, dass beide Assistenten bei leichter und schwieriger Aufgabe in allen Stufen aktiv waren. Assistenzstufen in der Nähe der Spurmitte wurden längere Zeit angezeigt als Assistenzstufen am Fahrspurrand, was aufgrund der Instruktion zur genauen Spurhaltung plausibel war. Der statistische Vergleich der Fahrzeiten zeigte eine Interaktion von Assistenzstufe und Aufgabenanforderung (Info-Assistent: $F(7,63) = 14.3$, $p < .001$; Warn-Assistent: $F(7,63) = 23$, $p < .001$). Assistenzstufen, die die Fahrspurmitte repräsentierten, wurden bei beiden Assistenten länger bei der leichten als bei der schwierigen Aufgabe angezeigt. Umgekehrt wurden Assistenzstufen, die den Fahrspurrand repräsentierten, häufiger bei der schwierigen Aufgabe angezeigt. Dieses Anzeigeverhalten erschien plausibel, da sich die Fahrer in der leichten Aufgabe wahrscheinlich eher im mittleren und in der schwierigen Aufgabe eher im äußeren Fahrspurbereich befanden.

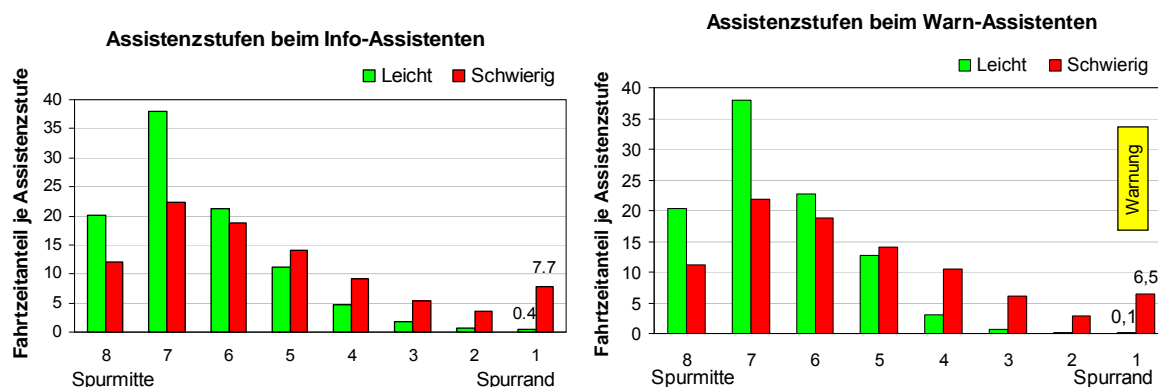


Abb. 6.6: Aktivität der einzelnen Assistenzstufen des Info-Assistenten (links) und des Warn-Assistenten (rechts) in Prozent der Gesamtfahrzeit.

Der Lenk-Assistent war in einem 0.4 m breiten neutralen Bereich in der Fahrspurmitte inaktiv und gab außerhalb dieses Bereichs ein linear steigendes Zusatzmoment auf das Lenkrad. Beim Vergleich der Fahrzeitanteile, in denen der Lenk-Assistent bei leichter und schwieriger Aufgabe nicht aktiv war, zeigte sich ein Haupteffekt der Aufgabenanforderung ($F(1,9) = 22.3$, $p < .05$). Abbildung 6.7 zeigt, dass die Fahrzeit mit inaktivem Assistenten bei der schwierigen Aufgabe kürzer war als bei der leichten. Demnach wurden die Fahrer bei der schwierigen Aufgabe häufiger unterstützt als bei der leichten, was plausibel erscheint, da sich die Fahrer bei der schwierigen Aufgabe wahrscheinlich weniger in der Fahrspurmitte aufhielten als in der leichten Aufgabe.

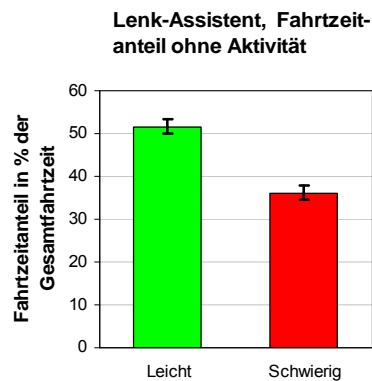


Abb. 6.7: Anteil der Fahrtzeit in Prozent der Gesamtfahrtzeit, in dem der Lenk-Assistent nicht aktiv war.

Im Rahmen der Manipulationskontrolle wurde außerdem geprüft, ob das Verständnis der Probanden über die Funktionsweise der Assistenzsysteme mit der geplanten Funktionsweise der Systeme übereinstimmte. Die Probanden sollten in den Akzeptanzfragebögen mit eigenen Worten einem anderen Fahrer das Assistenzsystem beschreiben. Die Sichtung der Antworten zeigte, dass die Probanden die Assistenten und ihre Funktionen so aufgefasst hatten, wie sie konzipiert waren.

Zusammengefasst sprechen die Ergebnisse für eine gelungene Variation der unabhängigen Variablen. Zum einen wurde die kurvige Strecke v.a. in zeitlicher und mentaler Hinsicht als fordernder wahrgenommen als die leichte Strecke. Die Aktivität der verschiedenen Assistenzstufen in Abhängigkeit von der Querablage wurde sichergestellt und spiegelt ein plausibles Fahrverhalten wider.

6.2.2 Bewertung der Aufgabenanforderungen in den Versuchsbedingungen

Durch den Vergleich der Bewertungen der Aufgabenanforderungen in allen 8 Versuchsbedingungen sollte untersucht werden, welche Assistenzfunktion aus Sicht der Probanden die Aufgabenanforderungen reduzieren konnte. Die Daten wurden vor der Auswertung in Bezug auf Ausreißer und Extremwerte geprüft. Die vorhandenen Ausreißer stellten ein mögliches Antwortverhalten dar und wurden daher in die Auswertung übernommen. Extremwerte traten nicht auf. Die Auswertung erfolgte durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung und dem Zwischensubjektfaktor Reihenfolge. Die Ergebnisse zeigten keine Haupteffekte der Assistenzfunktion und eine tendenzielle Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung in Bezug auf die zeitlichen Anforderungen ($F(3,27) = 2.7$, $p = .064$). Wie Abbildung 6.8 zeigt, war ohne Assistenz der Unterschied in den zeitlichen Anforderungen zwischen leichter und schwieriger Aufgabe tendenziell größer als in den assistierten Bedingungen. Beim paarweisen Vergleich der zeitlichen Anforderungen innerhalb der schwierigen Aufgabe gab es jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Assistenten bzw. ohne Assistenz. Demnach wurde kein Assistenzsystem als besonders hilfreich zur Reduzierung des Zeitdrucks bei der schwierigen Aufgabe empfunden.

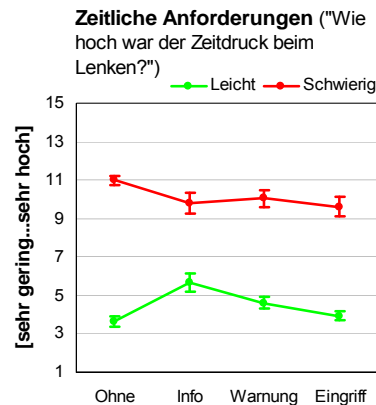


Abb. 6.8: Bewertung der zeitlichen Anforderungen durch die Versuchspersonen in Abhängigkeit der Assistenzbedingung und der Aufgabenanforderung.

Die Bewertungen zeigten in allen abgefragten Aspekten Haupteffekte des Faktors Aufgabenanforderungen. Die schwierige Aufgabe wurde insgesamt als schwieriger ($F(1,9) = 83.1$, $p < .001$), und weniger langweilig ($F(1,9) = 88.3$, $p < .001$) empfunden. Die Probanden meinten, sie schlechter gelöst zu haben ($F(1,9) = 27.6$, $p < .05$). Die Aufgabe wurde außerdem sowohl körperlich ($F(1,9) = 16.6$, $p < .05$), mental ($F(1,9) = 56.6$, $p < .001$) und zeitlich ($F(1,9) = 143.6$, $p < .001$) als anspruchsvoller wahrgenommen als die leichte.

Zusammengefasst zeigte sich in den Bewertungen, dass die Probanden keines der Assistenzsysteme als besonders entlastend für die Anforderungen der schwierigen Aufgabe wahrnahmen. Über alle Assistenten hinweg war die schwierige Aufgabe in allen Anforderungsaspekten anspruchsvoller als die leichte.

6.2.3 Fahrdaten

Im folgenden Abschnitt wird das Fahrverhalten in den verschiedenen Assistenzbedingungen beschrieben. Die Fahrdaten beschreiben objektiv, wie die Versuchspersonen mit den einzelnen Assistenzkonzepten bzw. ohne Assistenz gefahren sind und können daher zeigen, welche Systemmerkmale unterstützend oder weniger unterstützend wirkten. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand in einer guten Spurhaltung, die durch die schmale und stark kurvige Strecke sowie die hohe Geschwindigkeit bei der schwierigen Aufgabe erschwert wurde. In einer ersten Datensichtung zeigten sich in den Kurvensegmenten der Versuchsstrecke größere Unterschiede im Fahrverhalten als in den Geradensegmenten, weshalb nur die Daten der Kurvensegmente in die Auswertung einbezogen wurden. Die Daten der 15 bzw. 39 Kurvensegmente der leichten bzw. schwierigen Aufgabe wurden je Versuchsperson zu Abschnitten mit jeweils 5 Kurvensegmenten zusammengefasst, um ein mittleres Fahrverhalten abzubilden und mögliche Extremwerte einzelner Kurven zu kompensieren. Somit gab es in der leichten Strecke 3 Abschnitte und in der schwierigen Strecke 8 auszuwertende Abschnitte. Damit zuverlässige Aussagen über die Wirkungsweise der Assistenzsysteme möglich sind, war es wichtig, in die Auswertung ausschließlich ein über die Zeit stabiles Fahrverhalten der Probanden einzubeziehen. Im Unterschied zu den anderen Experimenten eignete sich die Geschwindigkeit zur Beschreibung des Fahrverhaltens nicht, da sie durch den Tempomaten vorgegeben war. Stattdessen boten sich die Varianz der Querablage und die Varianz des Lenkradwinkels an. Beide beschreiben das Spurverhalten und ihr zeitlicher Verlauf sollte anzeigen, wann die Probanden zu einem stabilen Spurverhalten gefunden hatten. Die Fahrdaten wurden in Bezug auf Ausreißer und Extremwerte untersucht. Eine Versuchsperson

son (VP 69) wies in der schwierigen Aufgabe bei Nutzung des Warn-Assistenten eine viermal höhere Schwankung in der Querablage auf als die anderen Versuchspersonen im Durchschnitt und wurde daher nicht in die Auswertung einbezogen. Bei den verbleibenden 11 Versuchspersonen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Standardabweichung der Querablage in der leichten Strecke ($F(1.2, 10.8) = 2.6$, $p = .131$) bzw. der schwierigen Strecke ($F(1.8, 16.8) = 1.2$, $p = .282$). Die Standardabweichung des Lenkwinkels variierte hingegen bei beiden Aufgabenanforderungen im Zeitverlauf. Wie Abbildung 6.9 (links) zeigt, nahm bei den leichten Strecken die Standardabweichung des Lenkwinkels im Zeitverlauf möglicherweise aufgrund von Ermüdung zu ($F(2, 18) = 4.1$, $p < .05$). Die Standardabweichung des Lenkwinkels der schwierigen Strecke variierte ebenfalls im Zeitverlauf ($F(3.2, 29.1) = 13.4$, $p < .05$). Wie Abbildung 6.9 (rechts) zeigt, war bei der schwierigen Strecke die Varianz zu Beginn erhöht, so dass der erste Streckenabschnitt den Fahrern möglicherweise zur Gewöhnung diente und sich nicht zur Beschreibung eines stabilen Fahrverhaltens eignete. Um die gleiche Anzahl von Kurven in der leichten und der schwierigen Strecke und ein ähnliches Müdigkeitsprofil miteinander zu vergleichen, wurden aus der schwierigen Strecke die Abschnitte 2, 4 und 7 für die Auswertung verwendet.

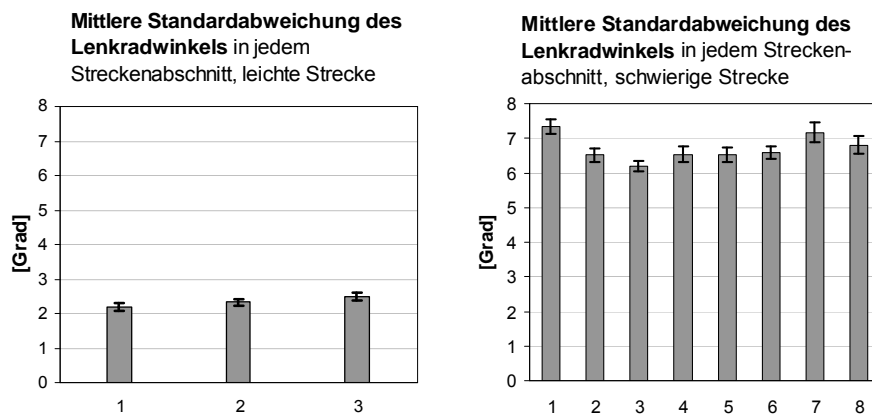


Abb. 6.9: Mittlere Standardabweichung des Lenkwinkels im zeitlichen Verlauf für die 3 Kurvenabschnitte der leichten und die 8 Kurvenabschnitte der schwierigen Strecke.

Die Fahrdaten wurden durch eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren Assistenzfunktion, Aufgabenanforderung und Streckenabschnitt ausgewertet. Die absolvierte Reihenfolge wurde als Zwischensubjektfaktor berücksichtigt. Die Voraussetzungen zur Berechnung einer Varianzanalyse wurden geprüft. Bei Verletzung der Sphärizität wird der nach Greenhouse-Geisser korrigierte Wert berichtet. Im Folgenden werden die Haupteffekte der 3 Faktoren und Interaktionen von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung berichtet, sofern signifikante Werte. Nicht signifikante Ergebnisse werden berichtet, sofern dieses zum Erkenntnisgewinn beiträgt. Da die Fahrer in dieser Studie die Geschwindigkeit nicht frei wählen konnten und kein anderes Fahrzeug eine Regelung der Längsführung erforderte, beschränkte sich die Analyse auf Daten zur Querführung. Sie sind unterteilt in Maße zur Spurhaltung und in Lenkmaße (Knappe et al., 2006).

Spurhaltemaße

Spurhaltemaße beschreiben die Position des Fahrzeugs in der Fahrspur. Für jede Variable werden zunächst die Haupteffekte der Assistenzfunktion und Interaktion von Assistenzfunktio-

on und Aufgabenanforderung beschrieben. Tabelle 6.2 gibt einen Überblick über die ausgewerteten Variablen.

Tab. 6.2: Spurhaltemaße, aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

Variablen	Haupteffekt Assistenzfunktion	Interaktion Assistenzfunktion u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Streckenabschnitt
Anzahl von Spurüberschreitungen nach rechts	.303	.426	.000	.651
Relative Dauer von Spurüberschreitungen n. rechts	.090	.475	.001	.791
Anzahl von Spurüberschreitungen nach links	.591	.331	.004	.039
Relative Dauer von Spurüberschreitungen n. links	.518	.521	.001	.291
Maximale laterale Position in der rechten Fahrspurhälfte	.004	.904	.000	.042
Maximale laterale Position in der linken Fahrspurhälfte	.195	.021	.029	.113
Standardabweichung der lateralen Position	.033	.130	.001	.038
Fahrzeitanteil im äußeren linken Fahrspurbereich (Querablage 0.7 – 0.45 m)	.035	.265	.054	.681
Fahrzeitanteil im linken Fahrspurbereich (Querablage 0.45 – 0.2 m)	.019	.304	.075	.498
Fahrzeitanteil im mittleren Fahrspurbereich (Querablage 0.2 – 0.2 m)	.170	.473	.000	.250
Fahrzeitanteil im rechten Fahrspurbereich (Querablage 0.2 – 0.45 m)	.074	.391	.144	.165
Fahrzeitanteil im äußeren rechten Fahrspurbereich (Querablage 0.45 – 0.7 m)	.102	.588	.005	.093
Mittlere laterale Position	.100	.304	.055	.353

Es traten 512 Spurüberschreitungen auf, davon wurde in 68.8 % der Fälle die Spur in Richtung des rechten Fahrspurrandes überschritten und in 31.2 % der Fälle in Richtung des linken Fahrspurrandes. Die Anzahl der Spurübertritte nach rechts bzw. nach links unterschieden sich nicht in Abhängigkeit von der Assistenzbedingung. Jedoch zeigte die relative Dauer je Spurübertritt nach rechts einen tendenziellen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,27) = 2.4$, $p = .09$). Spurüberschreitungen dauerten ohne Assistenz oder mit Info-Assistent eher länger und mit dem Lenk-Assistenten eher weniger lang. Abbildung 6.10 zeigt die mittlere Anzahl und Dauer der Spurüberschreitungen pro Kurve nach rechts.

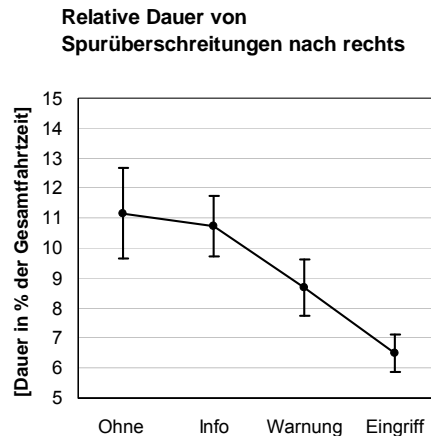


Abb. 6.10: Mittlere relative Dauer der Spurüberschreitungen nach rechts.

Die maximale Querablage beschreibt, wie weit die Fahrer die Spur maximal nach rechts oder links befahren haben. Das Maximum nach rechts zeigte einen Haupteffekt der Assistenzbedingung ($F(3,27) = 5.5$, $p < .05$). In Abbildung 6.11 ist für jede Assistenzbedingung die maximale Querablage nach rechts dargestellt. Wie zu sehen ist, wurde die Spur ohne Assistenz im Vergleich zum Info- und zum Warn-Assistenten am wenigsten weit nach rechts genutzt. Die maximale Spurnutzung zur linken Seite zeigte eine Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung ($F(3,27) = 3.84$, $p < .05$). In Abbildung 6.11 ist die maximale Querablage nach links für jede Assistenzbedingung getrennt nach leichter und schwieriger Aufgabe dargestellt. Die Spurnutzung weitete sich in allen assistierten Fahrten nach links aus wenn es schwierig wurde, während bei der unassistierten Fahrt die Spur bei leichter und schwieriger Aufgabe gleich weit befahren wurde.

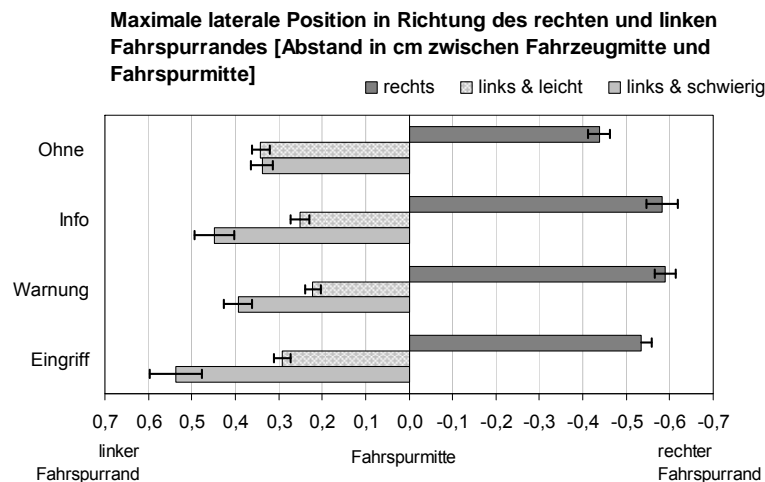


Abb. 6.11: Maximale laterale Position in Richtung des rechten und linken Fahrspurrandes je nach Assistenzbedingung. Dargestellt sind die Fahrspurmitte bei einer lateralen Position von 0 m und die lateralen Positionen von $\pm 0,7$ m, die den Fahrspurrand bei der schwierigen Strecke bilden.

Die Standardabweichung der lateralen Position beschreibt, wie stark die Probanden mit dem Fahrzeug in der Spur schwankten. Hier gab es einen Haupteffekt der Assistenzbedingung ($F(3,27) = 3.4$, $p < .05$) insofern, dass mit allen 3 Assistenten stärker in der Spur geschwankt wurde als ohne Assistenz. Um zu untersuchen, welchen Teil der Fahrspur die Probanden mit

den jeweiligen Assistenten nutzten, wurde der Zeitanteil berechnet, mit dem sich die Fahrzeuge mit dem Mittelpunkt ihrer vorderen Stoßstange in bestimmten Spurbereichen aufhielten. Als Spurbereiche wurden ein mittlerer Fahrschlauch von 0.4 m Breite und in Richtung der Fahrspurränder jeweils zwei weitere Fahrschläuche von 0.2 m Breite definiert. Der mittlere Fahrschlauch entsprach dem inaktiven Bereich des Lenk-Assistenten. Alle Spurbereiche zusammen deckten die Fahrspurbreite der schwierigen Strecke vollständig ab. Wie Abbildung 6.12 zeigt, wurde der mittlere Fahrschlauch in allen Assistenzbedingungen etwa gleich häufig genutzt ($F(3,27) = 1.8, p = .17$). Der äußere linke und der linke Spurbereich wurden hingegen intensiver genutzt wenn ohne Assistenz gefahren wurde als mit Assistenz (Fahrschlauch von 0.2 m – 0.45 m: $F(3,27) = 3.9, p < .05$, Fahrschlauch von 0.45 m – 0.7 m: $F(3,27) = 3.32, p < .05$). Der rechte Spurbereich zwischen 0.2 und 0.45 m wurde dagegen ohne Assistenz tendenziell weniger befahren als mit Assistenz ($F(3,27) = 2.58, p = .074$), während es weit rechts zwischen 0.45 und 0.7 m keine Unterschiede je nach Assistenzbedingung gab ($F(3,27) = 2.28, p = .102$).

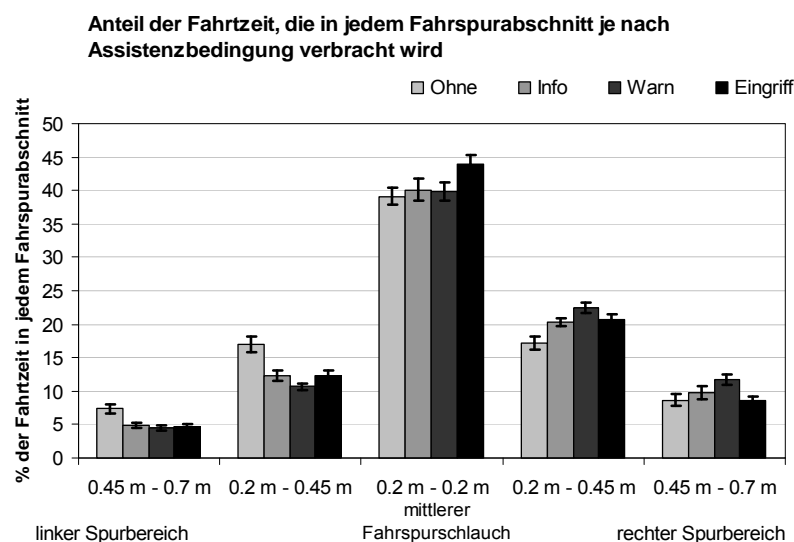


Abb. 6.12: Anteile der Fahrzeit, mit denen der mittlere bzw. die zwei rechten und zwei linken Fahrschläuche je nach Assistenzbedingung genutzt wurden.

Die mittlere laterale Position beschreibt, wie sich die Versuchspersonen in der Spur positionierten und unterschied sich nicht signifikant zwischen den Assistenzbedingungen ($F(3,27) = 2.3, p = .100$).

Die unterschiedlichen Anforderungen der leichten und schwierigen Aufgabe zeigten sich in zahlreichen Spurhaltemaßen. Sowohl Anzahl ($F(1,9) = 36.4, p < .001$) als auch Dauer der Spurübertritte ($F(1,9) = 48.7, p < .001$) waren bei der schwierigen Aufgabe höher als bei der leichten. Gleiches galt jeweils auch bei Berücksichtigung der Richtung des Spurübertritts. Die höheren Anforderungen der schwierigen Aufgabe führten außerdem zu einer Ausweitung des Fahrschlauchs nach rechts ($F(1,9) = 34.3, p < .001$) und links ($F(1,9) = 6.7, p < .05$) und zu stärkeren Schwankungen in der Querablage ($F(1,9) = 20.5, p < .05$). Außerdem sank bei der schwierigen Aufgabe die Fahrzeit in der Spurmitte ($F(1,9) = 39.6, p < .001$), während die Fahrzeit vor allem im äußeren rechten Spurschlauch stieg ($F(1,9) = 13.3, p < .05$).

Die Haupteffekte des Faktors Streckenabschnitt zeigten, dass im Verlauf der Strecke die Spurüberschreitungen nach links zunahmen ($F(2,18) = 3.9, p < .05$), die Spurnutzung sich

weiter nach rechts ausdehnte ($F(2,18) = 3.8, p < .05$) und die Schwankungen in der Spurführung zunahmen ($F(2,18) = 3.9, p < .05$)

Lenkmaße

Die Lenkmaße beschreiben das Lenkverhalten der Fahrer. In Tabelle 6.3 sind die ausgewerteten Variablen dargestellt. Auf die Beschreibung der Haupteffekte der Assistenzfunktion folgen die Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung, die Haupteffekte von Aufgabenanforderungen und Streckenabschnitt.

Tab. 6.3: Lenkmaße, aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

	Variablen	Haupteffekt Assistenzfunktion	Interaktion Assistenzfunktion u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Streckenabschnitt
Querführung	Standardabweichung des Lenkwinkels	.006	.090	.000	.015
	Steering Wheel Reversal Rate > 1 °, Anzahl / Minute	.001	.608	.000	.000
	Steering Wheel Reversal Rate > 5 °, Anzahl / Minute	.000	.196	.000	.000
	Querablage bei Lenkrichtungswechsel	.601	.265	.001	.709

Die Standardabweichung des Lenkwinkels beschreibt das Ausmaß der Lenkbewegungen und zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(1.5, 13.5) = 8.59, p < .05$). Abbildung 6.13 zeigt, dass ohne Assistenz am wenigsten hin- und her gelenkt wurde und mit dem Lenk-Assistenten am stärksten. Die Steering Wheel Reversal Rate umfasste die Anzahl der Lenkbewegungen pro Minute, denen eine Winkeldifferenz von mindestens 1 bzw. 5 Grad zugrunde lag. Die Anzahl kleiner Lenkbewegungen unterschied sich signifikant je nach Assistenzbedingung ($F(3,27) = 8.13, p < .001$). Wie Abbildung 6.13 zeigt, wurden ohne Assistenz nicht so viele kleine Lenkbewegungen ausgeführt wie mit Assistenzsystem, insbesondere dem Lenk-Assistenten. Auch die Anzahl der stärkeren Lenkbewegungen mit mindestens 5 Grad Lenkwinkeldifferenz unterschied sich zwischen den Assistenzbedingungen ($F(3,27) = 11.77, p < .001$). Ohne Assistenz wurde weniger häufig stark gelenkt als insbesondere mit dem Lenk-Assistenten. Die Querablage bei Lenkradrichtungswechseln beschreibt, wie weit die Probanden von der Spurmitte entfernt waren wenn sie ihre Lenkrichtung korrigierten. Hier zeigte sich kein Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,27) = .06, p = .601$) und keine Interaktion ($F(3,27) = 1.4, p = .265$). Somit führte kein Assistent dazu, dass die Fahrtrichtung bereits bei unkritischeren Querablagen im Vergleich zu den anderen Assistenten oder ohne Assistenz geändert wurde.

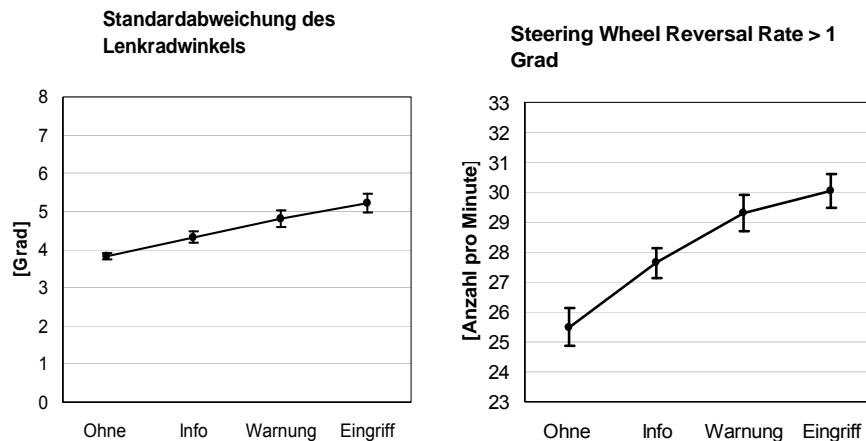


Abb. 6.13: Standardabweichung des Lenkradwinkels (links) und Anzahl der Lenkradrichtungswechsel pro Minute mit einer Winkeldifferenz von 1 Grad (rechts) je nach Assistenzbedingung.

Das Lenkverhalten wurde außerdem durch die unterschiedlichen Aufgabenanforderungen beeinflusst. Die Standardabweichung des Lenkradwinkels war in der schwierigen Aufgabe signifikant höher ($F(1,9) = 174.9$, $p < .001$). Sowohl kleinere Lenkradbewegungen ($F(1,9) = 67.7$, $p < .001$) als auch größere Lenkradbewegungen ($F(1,9) = 128.6$, $p < .001$) stiegen bei der schwierigen Aufgabe gegenüber der leichten Aufgabe an. Das Lenkverhalten änderte sich außerdem im Streckenverlauf, da die Lenkbewegungen über die Zeit zunahmen ($F(1.2, 11.2) = 7.4$, $p < .05$). Dieses galt für kleinere und stärkere Lenkbewegungen.

Zusammengefasst ermöglichte kein Assistent eine Verringerung der Häufigkeit von Spurübertritten gegenüber der unassistenten Fahrt. Traten Spurüberschreitungen auf, so konnte der Lenk-Assistent deren Dauer tendenziell verkürzen. Die Fahrleistung innerhalb der Fahrspur wurde von keinem der Assistenten gegenüber der unassistenten Fahrt verbessert. Waren Info-, Warn- oder Lenk-Assistent aktiv, so weiteten die Fahrer ihre Fahrspur weiter nach rechts und bei hohen Aufgabenanforderungen auch weiter nach links aus als sie es ohne Assistenz taten. Wurde ohne Assistenz eher der linke Fahrbahnbereich genutzt, so verlagerte sich die Fahrspur mit Assistenz eher in den rechten Bereich und damit in Richtung der zahlenmäßig relevanten Spurübertritte nach rechts. Die Assistenten verschlechterten außerdem die Stabilität der Querführung, da die Fahrer stärker in ihrer Fahrspur schwankten und stärker hin- und her lenkten als ohne Assistenz. Dabei nahmen sowohl kleine als auch stärkere Lenkbewegungen zu. Gelangten die Fahrer in Richtung des Fahrspurrandes, so korrigierten sie ihre Lenkrichtung in allen Assistenzbedingungen bei ähnlichen Querablagewerten. Demnach führte kein Assistent zu einer frühzeitigeren Lenkrichtungskorrektur innerhalb der Fahrspur.

6.2.4 Physiologische Beanspruchungsmessung

Physiologische Parameter messen die objektive Beanspruchung des Fahrers und ergänzen daher die subjektiven Beanspruchungswerte aus Sicht der Fahrer sowie die objektiven Fahrdaten über die unterstützende Wirkung der verschiedenen Assistenten. Als Beanspruchungsparameter wurde die Herzrate erhoben, aus der für jeden Streckenabschnitt die mittlere Differenz-IBI errechnet wurden. Die Differenz-IBI beschreiben die mittlere Differenz aus der Herzrate im Versuch und der Herzrate in einer Ruhephase vor dem Versuch. In dieser Ruhephase hatten die Probanden innerhalb eines PC-Programms drei Erholungsphasen

erlebt, die von zwei Arbeitsphasen, in denen Aufgaben zu lösen waren, unterbrochen waren. Aus den Herzraten der Erholungsphasen wurde ein Mittelwert gebildet und mit der Herzrate im Versuch abgeglichen. Eine positive Differenz deutete auf eine geringere Beanspruchung im Versuch gegenüber der Ruhephase hin, da die Zeit zwischen den R-Zacken stieg. Die genaue Berechnung des Wertes und die Definition von Ausreißern sind in Kapitel 3.4 beschrieben. In keinem Datensatz lagen Ausreißer vor, so dass die aufgezeichneten Daten unverändert für die Auswertung verwendet wurden. Die Daten wurden in einer dreifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet. Die mittlere Herzrate zeigte weder einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,27) = 0.4$, $p = .771$), noch einen Haupteffekt der Aufgabenanforderungen ($F(1,9) = 3.2$, $p = .109$) und keine Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen ($F(3,27) = 0.8$, $p = .480$). Die Beanspruchung änderte sich auch nicht im Streckenverlauf ($F(2,18) = 0.03$, $p = .972$). Allerdings gab es einen signifikanten Reihenfolgeeffekt. Absolvierten die Probanden zunächst die Aufgabe mit niedriger Aufgabenanforderung, so waren die Differenz-IBI signifikant höher als wenn sie mit der schwierigen Aufgabe starteten ($F(1,9) = 6.1$, $p < .05$). Möglicherweise war es weniger beanspruchend, die schwierige Strecke zu fahren wenn man zuvor schon die leichte gefahren war. Allerdings lag die Beanspruchung in beiden Abfolgen unter der der Ruhephase. Insgesamt konnte also kein Assistenzsystem die physiologische Beanspruchung reduzieren. Allerdings gab es auch keine höhere physiologische Beanspruchung in der schwierigen Aufgabe im Vergleich zur leichten Aufgabe.

6.2.5 Akzeptanzbeurteilungen der Assistenzsysteme

In den Akzeptanzfragebögen wurden die Gestaltung, die Nützlichkeit und die Funktionalität der Assistenzsysteme durch die Probanden bewertet. Anhand der subjektiven Beurteilungen lassen sich positive und negative Merkmale der Assistenzsysteme erkennen und damit die Befunde der anderen Datenquellen möglicherweise erklären. Die Akzeptanzuntersuchung wurde bereits veröffentlicht (Werneke, 2006) und daher hier verkürzt dargestellt. Die Kategorie *Gestaltung* betrachtete die Oberfläche der Spurhalteassistenten. Sie umfasste die Bewertung der gestalterischen Merkmale der Assistenten, die vom Benutzer sichtbar oder spürbar waren. In der Kategorie *Nützlichkeit* stand die Beurteilung Systemnutzens für den Anwender im Vordergrund. Die Kategorie *Funktionalität* berührte den Kern der Assistenzsysteme, indem die einzelnen Funktionen und Möglichkeiten bewertet wurden, die der jeweilige Spurhalteassistent bot.

Vor Anwendung der statistischen Verfahren wurden die Daten der 11 Versuchspersonen auf Plausibilität, Ausreißer und Extremwerte geprüft. Da alle Antworten zum Antwortverhalten der benachbarten Items passen, wurden keine Werte verändert. Fehlende Antworten wurden anhand des Imputationsverfahrens ersetzt (Items WL_A4_Ton, WL_A4_Lautstärke und WL_B4 bei VP 309, WL_B10 und WL_B11 bei VP 95, WS_A5 bei VP 304). Das Item B1 („Wie häufig würden Sie diese Assistenz in der Stadt in Ihrem Auto nutzen?“) wurde für die schwierige Strecke nicht ausgewertet, da die dann vorgegebene Geschwindigkeit von 120 km/h für Stadtfahrten nicht erlaubt ist. Die Akzeptanzdaten wurden mithilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet, wobei die Reihenfolge der Aufgabenanforderung als Zwischensubjektfaktor berücksichtigt wurde. Im Unterschied zu den Experimenten zur Längsführung gab es hier keine Akzeptanzbefragungen nach der unassistierten Fahrt, da sich keines der im Fahrzeug befindlichen Systeme als Vergleichssystem zur Unterstützung der Querführung anbot. Die Akzeptanzbewertungen wurden direkt nach jeder Fahrt auf einer Skala von 1 bis 15 abgegeben, wobei 15 stets die beste Beurteilung darstell-

te. Die Vergleichsfragebögen, in denen die 3 Assistenten für die leichte bzw. die schwierige Aufgabe verglichen wurden, und der Gesamtvergleichsfragebogen wurden mit dem Friedman-Test ausgewertet. Im Folgenden werden alle signifikanten und tendenziell signifikanten Ergebnisse der 3 Akzeptanzbereiche und der Vergleichsfragebögen dargestellt. Nicht signifikante Ergebnisse werden dargestellt, sofern sie zum Erkenntnisgewinn beitragen.

Gestaltung

Tabelle 6.4 zeigt die signifikanten Unterschiede bei der Bewertung der Gestaltung der Assistenzsysteme.

Tab. 6.4: Fragen zur Bewertung der Gestaltung der Assistenzsysteme. Dargestellt sind die Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie gut ist die Gestaltung des Assistenten insgesamt?	.840	.001	.719
Nur Warn-Assistent: Wie gut ist das Alarmsignal des kritischen Bereichs in Bezug auf die Lautstärke?	-	.031	-
Nur Lenk-Assistent: Wie angenehm ist das Assistenzsystem?	-	.052	-
Nur Lenk-Assistent: Wie aktiv ist das Assistenzsystem?	-	.068	-
Nur Info- und Warn-Assistent: Wie ist die Größe der Anzeige?	.428	.574	.364
Nur Info- und Warn-Assistent: Wie gut ist die Position der Anzeige?	.247	.768	.476

Die *Gesamtbewertung* der Gestaltung wurde für die Assistenten je nach Aufgabenanforderung unterschiedlich wahrgenommen ($F(2,18) = 11.04$, $p < .001$). Bei der leichten Aufgabe wurde die Gestaltung des Lenk-Assistenten am besten bewertet. In der schwierigen Aufgabe fiel seine Gestaltungsbewertung jedoch signifikant schlechter aus als in der leichten Aufgabe ($t(10) = 2.8$, $p < .05$). In einer offenen Frage konnten die Fahrer Vorschläge zur Verbesserung der Assistenten nennen. Für den Lenk-Assistenten empfahlen sie einen weniger starken und kürzeren Eingriff, da sie durch das heftige Gegenlenken des Assistenten oftmals an den entgegen gesetzten Fahrspurrand gedrängt worden waren. Der Eingriff sollte außerdem vorausschauend sein und sich nicht an der aktuellen Position orientieren und durch ein akustisches Signal begleitet werden. In der schwierigen Aufgabe wurde stattdessen der Warn-Assistent als am besten gestaltet wahrgenommen (siehe Abbildung 6.14). Dabei wurde die Lautstärke seines Alarmsignals bei der schwierigen Aufgabe weniger geschätzt als bei der leichten ($F(1,9) = 6.5$, $p < .05$). Speziell beim Lenk-Assistenten wurde erfragt, wie aktiv und angenehm die Probanden ihn fanden. Für beide Aspekte zeigte sich ein tendenzieller Haupteffekt der Aufgabenanforderung, indem der Lenk-Assistent in der schwierigen Aufgabe als tendenziell weniger angenehm ($F(1,9) = 4.9$, $p = .052$) und tendenziell aktiver wahrgenommen wurde ($F(1,9) = 4.3$, $p = .068$). Abbildung 6.14 zeigt die Unterschiede. Ferner wurden Info- und Warn-Assistent verglichen in Bezug auf Größe und Position ihrer Anzeige, wobei es keine unterschiedlichen Bewertungen zwischen den Assistenten oder Anforderungen gab.

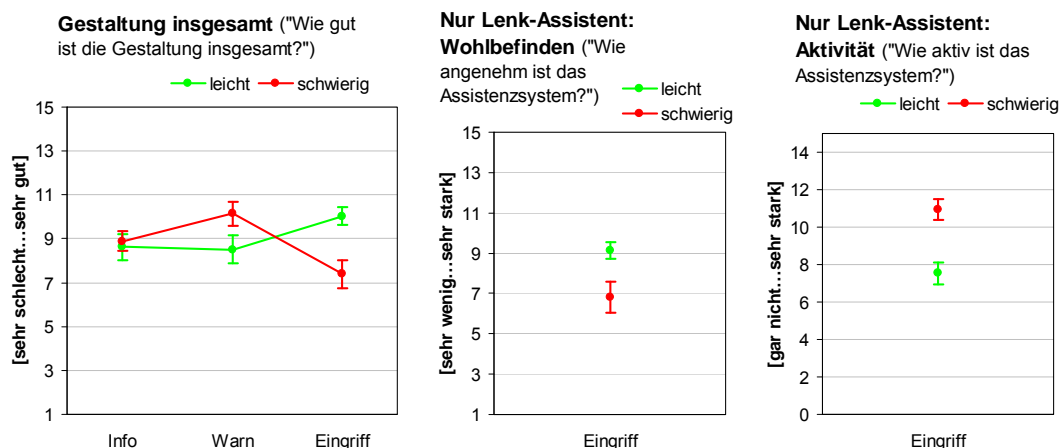


Abb. 6.14: Akzeptanzbewertungen zur Gestaltung. Dargestellt sind die Gesamtbewertung (links) und die spezifisch für den Lenk-Assistenten vorgenommene Bewertung des Wohlbefindens (Mitte) und der Aktivität (rechts). 15 Punkte stellen die beste Bewertung dar.

Nützlichkeit

Tabelle 6.5 zeigt die signifikanten Unterschiede bei der Bewertung der Nützlichkeit der Assistenzsysteme.

Tab. 6.5: Fragen zur Bewertung der Nützlichkeit der Assistenzsysteme. Dargestellt sind die Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie sehr entlastet Sie diese Assistenz beim Fahren?	.041	.355	.261
Wie sehr lenkt Sie das Assistenzsystem ab?	.098	.458	.152
Der Assistent stellt die Position des Autos auf der Straße dar. Wie gut ist die Darstellung?	.225	.061	.993
Wie nützlich ist diese Assistenz insgesamt?	.241	.515	.001
Wie sehr hilft das Assistenzsystem gut zu fahren?	.231	.381	.000
Wie verändert sich durch den Assistenten die Freude beim Fahren?	.686	.210	.005
Nur Warn- und Lenk-Assistent: Wie sehr hat Sie das Alarmsignal gestört?	.330	.970	.003

In den einzelnen Nützlichkeitsaspekten gab es zwischen den Assistenten einen signifikanten Unterschied in Bezug auf *Entlastung* ($F(1.2,11) = 4.9$, $p < .05$) und einen tendenziell signifikanten Unterschied in der *Ablenkung* ($F(2,18) = 2.6$, $p = .098$). Wie die Abbildung 6.15 zeigt, wurde in beiden Aspekten der Lenk-Assistent am besten bewertet, da er am meisten entlastete und weniger ablenkte. Allerdings war das Entlastungsniveau mit allen Assistenten niedrig. Die Bewertung der *Darstellung* der Fahrzeugposition auf der Straße zeigte eine tendenzielle Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung ($F(2,18) = 3.3$, $p = .061$).

Dem Warn-Assistenten wurde bei der schwierigen Aufgabe die beste Darstellung bescheinigt (siehe Abbildung 6.15).

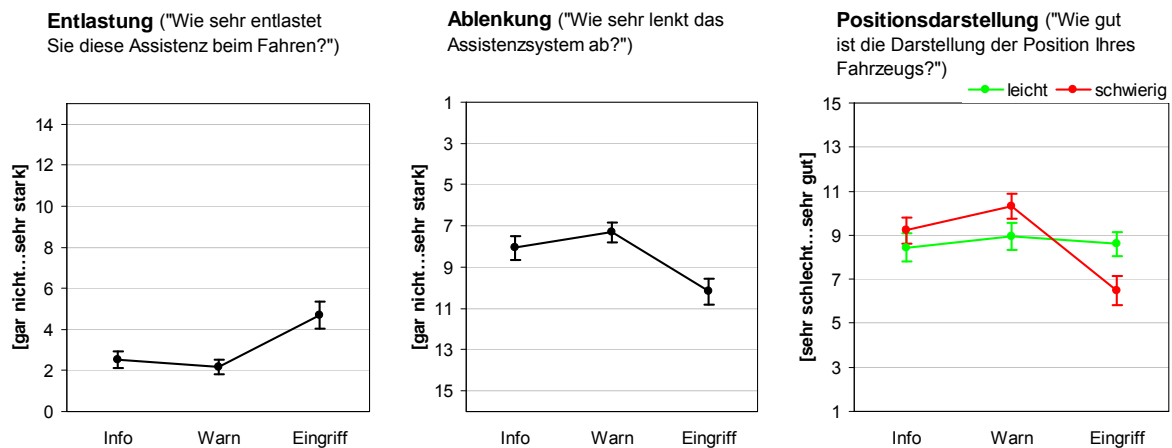


Abb. 6.15: Akzeptanzbewertungen zur Nützlichkeit. Dargestellt sind die Bewertung der Entlastung (links), der Ablenkung (Mitte) und der Güte der Positionsdarstellung des Fahrzeugs in der Fahrspur (rechts). 15 Punkte stellen jeweils die beste Bewertung dar.

In weiteren Bewertungen zur Nützlichkeit zeigten sich Haupteffekte der Aufgabenanforderungen, die allerdings konträr zur Erwartung ausfielen. So wurden die Assistenten in der Gesamtbewertung der Nützlichkeit ($F(1,9) = 27.1$, $p < .001$) für die schwierige Aufgabe als weniger nützlich empfunden als für die leichte Aufgabe (siehe Abbildung 6.16). Allerdings wurden die Assistenten bei beiden Aufgabenanforderungen mit niedriger Nützlichkeit bewertet. Ebenso wurde die Hilfe der Assistenz beim Fahren („Wie sehr hilft das Assistenzsystem gut zu fahren?“) ($F(1,9) = 32.7$, $p < .001$) als auch die Freude beim Fahren („Wie verändert sich durch den Assistenten die Freude beim Fahren?“) ($F(1,9) = 14$, $p < .05$) für die schwierige Aufgabe schlechter bewertet als für die leichte. Das Alarmsignal bei Warn- und Lenk-Assistent ($F(1,9) = 15.5$, $p < .05$) war bei der schwierigen Aufgabe störender als bei der leichten.

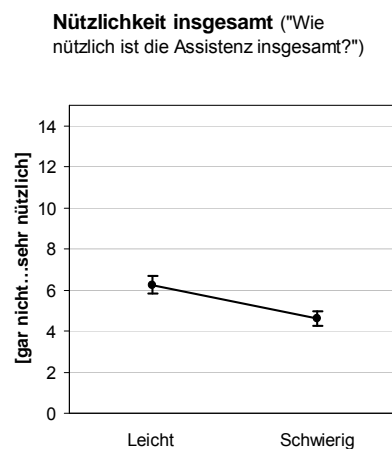


Abb. 6.16: Akzeptanzbewertungen zur Nützlichkeit insgesamt. 15 Punkte stellen die beste Bewertung dar.

Funktionalität

Tabelle 6.6 zeigt die signifikanten Unterschiede bei der Bewertung der Funktionalität der Assistenzsysteme.

Tab. 6.6: Fragen zur Bewertung der Funktionalität der Assistenzsysteme. Dargestellt sind die Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie gut sind die Möglichkeiten, die der Assistent bietet, insgesamt?	.571	.322	.011
Wie häufig hat das Assistenzsystem die Kontrolle über das Fahren verringert?	.707	.708	.006
Wie sehr vertrauen Sie diesem Assistenzsystem?	.271	.873	.020

In den Fragen zur *Funktionalität* gab es keine unterschiedlichen Bewertungen zwischen den Assistenzbedingungen. Die Nutzer bevorzugten also keines der Assistenzsysteme hinsichtlich der Funktionen, die es bot.

In einigen Aspekten zeigten sich allerdings Unterschiede je nach Aufgabenanforderung. So wurden die Funktionalität insgesamt ($F(1,9) = 10.3$, $p < .05$), die Kontrollminderung durch den Assistenten ($F(1,9) = 13$, $p < .05$) und das Vertrauen in den Assistenten ($F(1,9) = 7.9$, $p < .05$) für die einfache und die schwierige Aufgabe unterschiedlich bewertet. Erwartungskonträr fiel die Bewertung jeweils für die schwierige Aufgabe schlechter aus als für die leichte. Die Bewertungen sind in Abbildung 6.17 dargestellt.

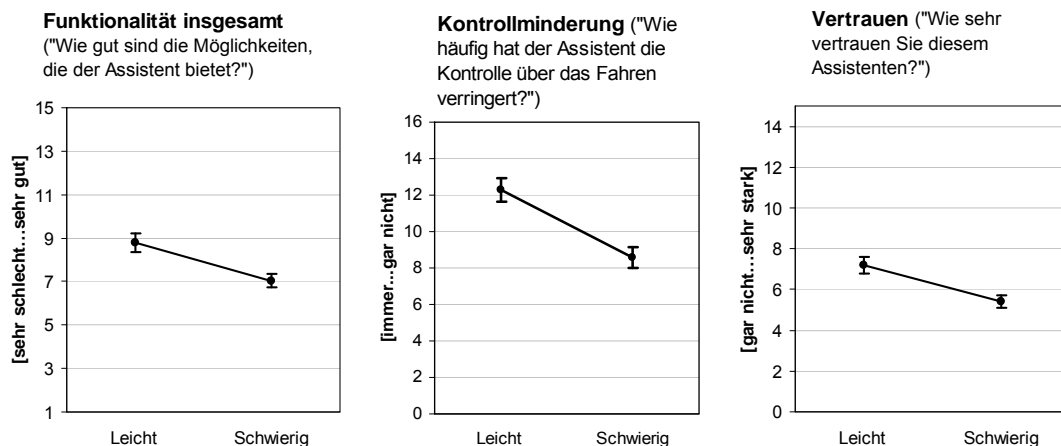


Abb. 6.17: Akzeptanzbewertungen zur Funktionalität. Dargestellt sind die Bewertung der Funktionalität insgesamt (links), der Kontrollminderung (Mitte) und des Vertrauens (rechts). 15 Punkte stellen jeweils die beste Bewertung dar.

Außerdem wurde in diesem Teil nach der Nutzung der Assistenten gefragt. Tabelle 6.7 zeigt die Bewertungen der Versuchspersonen.

Tab. 6.7: Fragen zur Bewertung der Nutzung der Assistenzsysteme. Dargestellt sind die Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Nur Info- und Warn-Assistent: Wie häufig haben Sie beim Fahren auf die Anzeige geschaut?	.053	.552	.026
Nur Warn- und Lenk-Assistent: Wie häufig hat das Assistenzsystem Sie gewarnt?	.006	.103	.004
Wie häufig hat das Assistenzsystem Ihr Fahren beeinflusst?	.824	.026	.053

Als erstes sollten die Probanden die *Häufigkeit* angeben, mit der sie auf die Anzeigen des Info- und des Warn-Assistenten geschaut hatten. Die Nutzung der visuellen Anzeige zeigte einen tendenziellen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(1,9) = 4.9$, $p = .053$) und einen Haupteffekt der Aufgabenschwierigkeit ($F(1,9) = 7.1$, $p < .05$). Die Anzeige des Warn-Assistenten wurde häufiger genutzt als die des Info-Assistenten. Wie Abbildung 6.18 zeigt, wurden bei der schwierigen Aufgabe aber beide Anzeigen weniger betrachtet als bei der leichten Aufgabe. Neben der Nutzung der visuellen Information sollten die Probanden die Häufigkeit der Warnungen bewerten. Auch die Warnhäufigkeit zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(1,9) = 12.4$, $p < .05$) und einen Haupteffekt der Aufgabenschwierigkeit ($F(1,9) = 15.1$, $p < .05$). Die Warnungen des Lenk-Assistenten erfolgten nach Auskunft der Probanden häufiger als die des Warn-Assistenten. Wie in Abbildung 6.18 zu sehen, wurden im Unterschied zur visuellen Informationsaufnahme bei der schwierigen Aufgabe mehr Warnungen wahrgenommen als bei der leichten. Neben der Bewertung der Informationsaufnahme und der Warnungen beurteilten die Probanden außerdem, wie häufig die Assistenten die Fahrhandlung beeinflusst hatten. Hier zeigte sich eine Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung ($F(2,18) = 4.5$, $p < .05$). Abbildung 6.18 (rechts) zeigt, dass im Vergleich zur leichten Aufgabe der Einfluss von Warn- und Lenk-Assistent bei der schwierigen Aufgabe zunahm. Dagegen blieb der Einfluss des Info-Assistenten bei beiden Anforderungen gleich.

Insgesamt zeigte sich somit, dass die aktive Informationssuche der Probanden bei steigenden Aufgabenanforderungen abnahm. Entsprechend hatte der Info-Assistent bei der schwierigen Aufgabe nicht mehr Einfluss auf das Fahren als bei der leichten. Dagegen nahm der Einfluss von Warn- und Lenk-Assistent bei der schwierigen Aufgabe zu. Das könnte daran liegen, dass die Fahrer diesen beiden Assistenten mehr Einfluss einräumen wollten. Allerdings hatten die Fahrer angegeben, dass sie den Lenk-Assistenten bei der leichten Aufgabe dafür genutzt hatten, sich in die Spur zurückführen zu lassen, aber bei der schwierigen Aufgabe eine Nutzung vermieden hatten. Plausibler erscheint daher, dass zumindest der Lenk-Assistent aufgrund der schlechteren Fahrleistung automatisch mehr Einfluss nahm und dieses nicht unbedingt dem Fahrerwunsch entsprach.

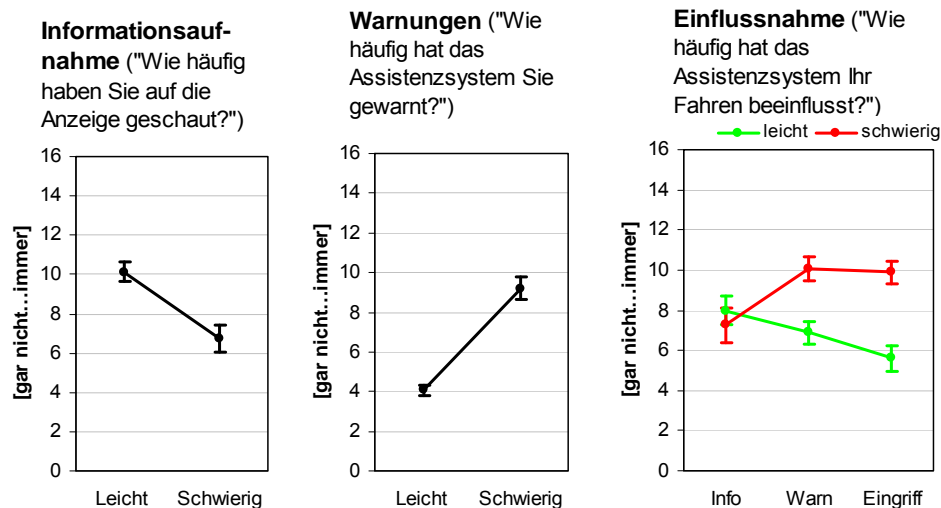


Abb. 6.18: Akzeptanzbewertungen zur Nutzungshäufigkeit. Dargestellt sind die Häufigkeiten von Informationsaufnahme (links) und Warnungen (Mitte) als Haupteffekte der Aufgabenanforderung sowie die Häufigkeit der Einflussnahme (rechts) als Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung.

Vergleichsfragebogen

In den Vergleichsfragebögen verglichen die Probanden die 3 Assistenten nach jeder Anforderungsbedingung und in einem Gesamtfragebogen am Ende des Versuchs. Entsprechend zu den Kategorien der Akzeptanzfragebögen wurden Gestaltung, Nützlichkeit und Funktionalität verglichen, indem jeder Assistent einen Platz von 1 (beste Bewertung) bis 3 (schlechteste Bewertung) je Kategorie erhielt. In den Vergleichsfragebögen erfolgte die Beurteilung getrennt für die leichte und schwierige Aufgabe. Hier gab es keine signifikanten Unterschiede in der Platzierung der Assistenten. Im Gesamtfragebogen, der sich auf beide Aufgabenanforderungen bezog, wurde die Nützlichkeit der Assistenten tendenziell unterschiedlich bewertet ($\chi^2(2) = 4.9$, $p = .086$). Während sowohl Warn- als auch Lenk-Assistent für die Nützlichkeit mit durchschnittlich 1.73 platziert wurden, wurde der Info-Assistent mit Platz 2.55 als weniger nützlich bewertet. Wie Abbildung 6.19 zeigt, wurden Warn- und Lenk-Assistent recht ähnlich platziert, während beim Info-Assistent nur zweite und dritte Plätze vergeben wurden. Die Assistenten wurden nicht unterschiedlich in Bezug auf Gestaltung oder Funktionalität bewertet.

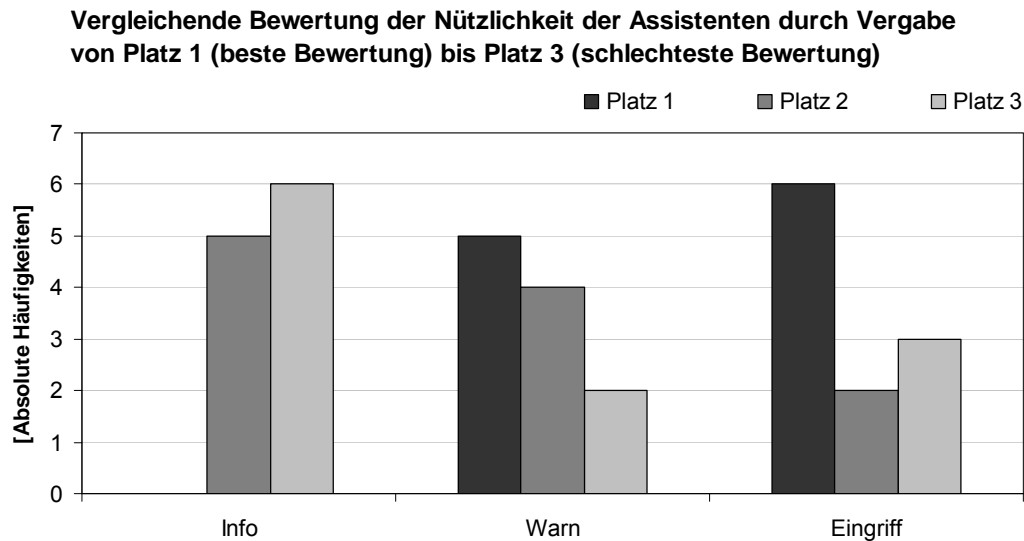


Abb. 6.19: Vergleichende Bewertung der Assistenten im Gesamtfragebogen in Bezug zur Nützlichkeit. Platz 1 stellt die beste Bewertung dar.

Zusammenfassend zeigten sich in den Akzeptanzbewertungen nur wenige Unterschiede zwischen den Assistenten. Der Warn-Assistent wurde gerade bei der Bewältigung der schwierigen Aufgabe hinsichtlich seiner Gestaltung geschätzt. Außerdem konnte er dem Fahrer am besten die Position des Fahrzeugs auf der Straße vermitteln. Allerdings verschaffte der Warn-Assistent keine Entlastung bei der Fahraufgabe und war wenig nützlich. Der Lenk-Assistent lenkte am wenigsten ab und konnte tendenziell besser entlasten als die anderen Assistenten. Allerdings war die entlastende Wirkung eher gering, was möglicherweise an seiner Gestaltung lag. Die Gestaltung des Lenk-Assistenten wurde gerade bei der schwierigen Aufgabe schlechter bewertet als bei der leichten Aufgabe. Er wirkte in der schwierigen Aufgabe deutlich aktiver und weniger angenehm auf die Probanden. Somit erwies sich aus Sicht der Probanden in diesem Experiment keiner der Assistenten als besonders geeignet zur Unterstützung bei der Fahraufgabe. Der Warn-Assistent war zwar gut gestaltet, konnte aber nach Meinung der Probanden wenig zur Bewältigung der Fahraufgabe beitragen. Möglicherweise bestand die Herausforderung der Aufgabe daher nicht darin, die Position des Fahrzeugs in der Fahrspur zu erkennen, so dass der Warn-Assistent daher nicht als nützlich bewertet wurde. Umgekehrt zeigte der Lenk-Assistent Entlastungstendenzen, war aber gerade bei der schwierigen Aufgabe zu aktiv gestaltet und wenig angenehm, um als geeignete Unterstützung wahrgenommen zu werden. Durch seinen heftigen Eingriff hatte er die Probanden oftmals an den entgegen gesetzten Fahrspurrand gedrängt. Die Gestaltungsempfehlungen der Probanden in Richtung eines schwächeren und vorausschauenden Eingriffs deuten an, dass eine andere Gestaltung zu einer höheren Entlastung und Nützlichkeit für die Fahraufgabe hätte führen können. Insofern ist es möglich, dass ein Eingriff mit einer anderen Umsetzung die geeignete Unterstützung für diese Fahraufgabe darstellt und der Fahrer Unterstützung bei der Regulierung seiner Spurführung benötigt.

6.3 Diskussion

In der abschließenden Diskussion wird zunächst die Fragestellung der Studie wiederholt beschrieben und werden dann die wesentlichen Ergebnisse der einzelnen subjektiven und

objektiven Datenquellen zusammengefasst. Zum Schluss wird die Wirksamkeit der einzelnen Assistenzsysteme in Bezug auf die vorliegenden Aufgabenanforderungen diskutiert.

Die Versuchspersonen hatten in diesem Experiment die Aufgabe, auf einer breiten und wenig kurvigen Landstraße bei niedriger Geschwindigkeit bzw. auf einer schmalen und kurvigen Landstraße bei hoher Geschwindigkeit gut die Spur zu halten. Die zügige Abfolge enger Kurven bei hohem Tempo sollte zu einer Erschwernis der Lenktätigkeit und damit der Handlungsausführung führen. Unterstützung erhielten die Probanden durch einen Info-, Warn-, bzw. Lenk-Assistenten oder sie fuhren unassistent. Der Lenk-Assistent unterstützte die Handlungsausführung des Fahrers, so dass dessen Assistenzfunktion am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt war. Als Ziel der Studie sollte ermittelt werden, welche Assistenzfunktion die beste Unterstützung bei Anforderungen im Bereich der Handlungsausführung darstellte. Anhand der Wirkung des Lenk-Assistenten sollte es außerdem zur Klärung der Gesamtfragestellung beitragen, ob eine Abstimmung der Assistenzfunktion mit den Aufgabenanforderungen sinnvoll ist.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden in ihren Bewertungen der Aufgabenanforderungen die Fahraufgabe insbesondere als zeitlich und mental fordernd wahrnahmen. Der Zeitdruck beim Lenken war dann höher und sie mussten achtsamer sein. Nach Meinung der Probanden konnte keines der Assistenzsysteme dabei helfen, diese Anforderungen zu reduzieren, so dass die schwierige Aufgabe auch bei Nutzung der Assistenten als signifikant schwieriger wahrgenommen wurde. Diese subjektiven Bewertungen fanden sich auch in der objektiven Beanspruchungsmessung. Die physiologische Beanspruchung konnte ebenfalls durch kein Assistenzsystem reduziert werden. Im Unterschied zur subjektiven Bewertung der Beanspruchung war die physiologische Beanspruchung allerdings für die leichte und die schwierige Aufgabe gleich hoch, möglicherweise lag dies an der hohen Varianz der Werte.

Die Fahrdaten zeigten, dass Spurüberschreitungen vor allem in Richtung des rechten Fahrspurrandes erfolgten. Der Lenk-Assistent konnte nicht deren Anzahl, aber zumindest ihre Dauer tendenziell verkürzen. Somit konnte der Lenk-Eingriff keine Überschreitungen verhindern, aber das Fahrzeug schneller wieder in die Spur zurückbringen als es die Fahrer mit den anderen Assistenten oder ohne Assistenz konnten.

Das Fahrverhalten innerhalb der Fahrspur fiel allerdings mit allen Assistenten kritischer aus als ohne Assistenz. Mit Assistenz zeigten die Fahrer eine variabelere Querführung als ohne Assistenz, da sie stärker in ihrer Fahrspur schwankten. Sie hielten sich dann länger im rechten Fahrspurbereich auf und gelangten auch weiter nach rechts an den Fahrspurrand, während sie ohne Assistenz länger im linken Fahrspurbereich fuhren und nicht so weit an den rechten Fahrspurrand gelangten. Die steigenden Anforderungen der schwierigen Fahraufgabe führten mit Assistenz dazu, dass die Fahrer ihren Fahrschlauch weiter nach links ausdehnten, während der Fahrschlauch ohne Assistenz bei leichter und schwieriger Aufgabe gleich breit war. Neben dem Spurverhalten war auch das Lenkverhalten mit Assistenz variabler als ohne Assistenz. Die Probanden lenkten mit Assistenz stärker hin und her und nahmen häufiger kleine und große Lenkkorrekturen vor als ohne Assistenz. Korrekturen der Fahrtrichtung wurden mit allen Assistenten sowie ohne Assistenz bei vergleichbaren Querablagen vorgenommen. Das bedeutet, dass keiner der Assistenten ein antizipatives Lenkverhalten innerhalb der Fahrspur unterstützte, wenn die Fahrer auf den Fahrspurrand zufuhren.

In den Akzeptanzbewertungen wurde der Warn-Assistent in Bezug auf die Gestaltung favorisiert. Mit ihm konnten die Probanden am besten die Position des Fahrzeugs in der Fahrspur erkennen. Da er aber keine Entlastung bei der Fahraufgabe verschaffte, war diese Eigenschaft anscheinend nicht für die Bewältigung der Fahraufgabe relevant. Umgekehrt zeigte der Lenk-Assistent Entlastungstendenzen und lenkte am wenigsten ab, wurde aber aufgrund seiner zu starken und wenig angenehmen Aktivität gerade in der schwierigen Aufgabe nicht als nützlich wahrgenommen. Somit wurde kein Akzeptanzsystem als hilfreicher für die Erfüllung der Fahraufgabe bewertet als die anderen.

Abschließend werden die 3 Assistenzfunktionen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bei den dargebotenen Aufgabenanforderungen verglichen.

Der Info-Assistent erwies sich weder als entlastend, noch konnte er das Fahrverhalten gegenüber der unassistenten Fahrt verbessern und wurde auch nicht in Bezug auf bestimmte Merkmale besonders akzeptiert.

Der Warn-Assistent war gerade für die schwierige Aufgabe gut gestaltet und ermöglichte den Fahrern eine gute Bestimmung ihrer Position in der Spur. Dennoch wirkte der Warn-Assistent weder subjektiv noch objektiv entlastend für eine der Aufgabenanforderungen und verschlechterte das Fahrverhalten gegenüber der unassistenten Fahrt. Die Fahrer lenkten häufiger und fuhren instabiler in der Spur. Anscheinend nutzten die Fahrer die Information des Assistenten über ihre Spurposition also nicht zur Verbesserung ihrer Lenktätigkeit. So wurde beispielsweise in einer offenen Frage des Akzeptanzbogens nach Verbesserungspotential des Assistenten angegeben, dass man nicht zu wissen bräuchte, wo man sich auf der Fahrspur befindet und man den mittleren Anzeigebereich des Assistenten einfach grün einfärben sollte. Bei der schwierigen Aufgabe, in der sie stärker auf Unterstützung angewiesen waren, ignorierten die Fahrer die Information des Assistenten sogar noch stärker als bei der leichten. Die Positionsinformation des Warn-Assistenten hätte von den Fahrern beispielsweise dafür genutzt werden können, früher als mit den anderen Assistenten ihre Fahrtrichtung zu korrigieren wenn sie an den Fahrspurrand gelangten. Obwohl sie den Warn-Assistenten als gut gestaltet bewerteten, nutzten die Fahrer ihn jedoch nicht zu einer frühzeitigen Fahrtrichtungskorrektur. Möglicherweise war es für die Bewältigung der Fahraufgabe nicht nützlich, die eigene Position in der Spur bzw. das drohende Abkommen mitgeteilt zu bekommen, weil die Fahrer diese Informationen selbst durch einen Blick auf die Fahrspur erhalten konnten. Möglicherweise gab es auch keine frühzeitigen Lenkkorrekturen, weil für solche antizipativen Maßnahmen bei der vorliegenden Aufgabe, bei der sehr zügig hin- und hergelenkt werden musste, wenig Zeit war. Dieses deutet darauf hin, dass die Funktion, die der Warn-Assistent bot, für diese Fahraufgabe nicht nützlich war und die Fahrer aufgrund der ungeeigneten Funktionalität eine schlechtere Fahrperformanz als bei der unassistenten Fahrt zeigten.

Mit dem Lenk-Assistenten zeigten die Fahrer genau wie mit dem Warn-Assistenten eine instabile Querführung und ein lebhaftes Lenkverhalten im Vergleich zur unassistenten Fahrt. Der Lenk-Assistent war gerade für die schwierige Aufgabe zu aktiv und wenig angenehm gestaltet und drängte die Fahrer bei Spurüberschreitungen sehr stark in Richtung des anderen Fahrspurrandes, wodurch ein erneutes Gegenlenken vom Fahrer erforderlich war. Im Unterschied zum Warn-Assistenten konnte der Lenk-Assistent jedoch Spurüberschreitungen gegenüber der unassistenten Fahrt verkürzen und wirkte tendenziell entlastend. Dieses deutet darauf hin, dass die Funktion des Assistenten, das Fahrzeug schnell wieder in die Spur zurück zu lenken, eine hilfreiche Funktion darstellte und der Lenk-Eingriff daher unterstüt-

zend bei der Aufgabe des zügigen Hin- und Herlenkens wirkte. Die Probandenbewertungen zur Gestaltung des Lenk-Eingriffs legen nahe, dass die schlechte Fahrleistung innerhalb der Fahrspur vor allem auf die suboptimale Auslegung des Lenk-Assistenten zurückzuführen war und demnach im Unterschied zum Warn-Assistenten kein Zeichen einer ungeeigneten Assistenzfunktion war. Eine wirksamere Auslegung des Lenk-Assistenten hätte darin bestanden, die Aktivität an einem Vorausschaupunkt zu orientieren, weniger stark in die Lenkung einzugreifen und vor allem das Driften zum entgegen gesetzten Fahrspurrand zu vermeiden. Dieses hätte möglicherweise zu einem stabileren Fahrverhalten innerhalb der Fahrspur geführt und dadurch neben der Dauer auch die Anzahl von Spurübertretungen reduzieren können.

Insgesamt schien somit bei den bestehenden Anforderungen im Bereich der Handlungsausführung der Eingriff die wirksamste Assistenzfunktion darzustellen, da er am zügigsten auf die kritischen Spurverlassensereignisse reagieren konnte.

7 Querführung bei erschwerter Informationsaufnahme: Studie 4

In dieser Studie bestand die Fahraufgabe darin, bei guter Sicht oder bei Nebel zügig einer kurvigen Landstraße zu folgen und dabei so genau wie möglich in der Fahrspur zu fahren. Wie im Theorieteil beschrieben, stellt die Wahrnehmbarkeit des Streckenverlaufs eine Möglichkeit dar, die Aufgabenanforderungen im Bereich der Informationsaufnahme zu variieren. Bei Nebel ist die Wahrnehmung von Punkten der künftigen Trajektorie bzw. des Tangentialpunktes der Kurve erschwert. Diese Punkte stellen jedoch fahrrelevante Informationen dar, da der Fahrer sie zur Einschätzung der Kurvenkrümmung und der Wahl seiner Trajektorie nutzt. Diese Variation der Aufgabenanforderungen stellte die erste unabhängige Variable der Studie dar. In der leichten Aufgabe herrschten gute Sichtbedingungen, so dass die künftige Trajektorie und der Tangentialpunkt der Kurve gut wahrnehmbar waren. In der schwierigen Aufgabe war diese Wahrnehmung aufgrund des Nebels erschwert.

Unterstützung erhielten die Probanden durch einen Info-, Warn- bzw. Lenk-Assistenten oder fuhren ohne Assistenz. Der Info-Assistent sollte die Wahrnehmung der Fahrzeugposition in Relation zum Spurverlauf durch Anzeige der künftigen Querablage unterstützen und war durch diese Unterstützung der Informationsaufnahme am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt. Der Warn-Assistent gab zusätzlich eine Warnung wenn der Fahrer in die Spur zurücklenken sollte und sollte dadurch die Handlungsplanung unterstützen. Der Lenk-Assistent hatte in erster Linie eine eingreifende Funktion, wenn die Gefahr des Spurverlassens bestand und sollte daher die Handlungsausführung unterstützen. Die Variation der Assistenzfunktion stellte die zweite unabhängige Variable der Studie dar und bestand unter Einbeziehung der unassistierten Bedingung aus 4 Stufen.

Als Ziel der Studie sollte ermittelt werden, welche der dargebotenen Assistenzfunktionen die beste Unterstützung bot, wenn die Informationsaufnahme im Rahmen der Querführung für den Fahrer erschwert war. Die Ergebnisse sollten dadurch zur Klärung der Fragestellung beitragen, ob die mit den Aufgabenanforderungen abgestimmte Assistenzfunktion zur optimalen Unterstützung des Fahrers führte.

7.1 Methode

7.1.1 Aufgabe

Die Versuchspersonen sollten auf einer Landstraße fahren, die abwechselnd aus Geraden und engen Kurven bestand. Sie sollten genau in ihrer Fahrspur fahren, also weder zu nah an den rechten Fahrbahnrand noch an den Mittelstreifen gelangen. Auf der Gegenfahrbahn kamen in unregelmäßigen Abständen zahlreiche Fahrzeuge entgegen. Die Aufgabenschwierigkeit wurde dadurch variiert, dass in der leichten Bedingung gute Sichtbedingungen herrschten (siehe Abbildung 7.1, links), während in der schwierigen Bedingung der Streckenverlauf wegen Nebels schlecht sichtbar war (siehe Abbildung 7.1, rechts). Die Sichtweite im Nebel nahm linear ab und betrug maximal von 75 m. Das Streckenprofil war in beiden Schwierigkeitsbedingungen identisch. Um die Versuchspersonen zu einer genauen Spurhaltung zu motivieren, wurde ihre Spurgenaugigkeit bewertet. Die Versuchspersonen konnten die Geschwindigkeit in beiden Bedingungen frei wählen. Damit die Versuchspersonen die Schwierigkeit in der Nebelfahrt durch eine geringere Geschwindigkeitswahl nicht eigenmächtig reduzierten, wurde bei der Nebelfahrt in die Bewertung auch die Geschwindigkeit einbezogen und es gab dort einen Drängler.



Abb. 7.1: Variation der Aufgabenanforderungen durch unterschiedlich gute Sichtbedingungen. In der leichten Aufgabe (links) war der Straßenverlauf gut sichtbar. In der schwierigen Aufgabe (rechts) war die Wahrnehmung des Straßenverlaufs erschwert.

7.1.2 Assistenzsysteme

Mit Ausnahme der unassistierten Fahrt erhielten die Versuchspersonen bei jeder Fahrt Unterstützung durch eines der Assistenzsysteme. Die Assistenzsysteme unterschieden sich in ihrer Funktion, da sie den Fahrer entweder durch Information, Warnung oder Eingriff unterstützten. Die Assistenzsysteme unterschieden sich außerdem in ihrem Unterstützungsbeginn, der Unterstützungsdauer und den genutzten sensorischen Kanälen. In Vorversuchen wurden die Systeme getestet, um sicherzustellen, dass sie gut wahrnehmbar waren, zuverlässig funktionierten und zu den konzipierten Zeitpunkten aktiv waren.

Info-Assistent

Der Info-Assistent sollte die Wahrnehmung des Fahrers unterstützen, indem er auf fahrrelevante Informationen aufmerksam machte. Dazu war der Info-Assistent aus der ersten Querführungsstudie in einigen Elementen überarbeitet worden. Zur Unterstützung der Fahraufgabe erhielt der Fahrer eine Information über die eigene künftige Querablage. Im Unterschied zum ersten Info-Assistenten bezog sich hier die Information auf die künftige und nicht die aktuelle Querablage, um dem Fahrer genügend Zeit zum Reagieren auf die angezeigte Information zu verschaffen. Der Info-Assistent stellte visuell die künftige Position in der Spur dar und sollte es dem Fahrer damit erleichtern, seine künftige Querablage in Relation zum Streckenverlauf wahrzunehmen. Die sich aus dieser Information ergebenden Entscheidungen und Handlungen musste der Fahrer jedoch selbst treffen. Daher repräsentierte der Info-Assistent die niedrigste Automatisierungsstufe. Die Information erfolgte über ein Head-up Display, das auf der Fahrspur angezeigt wurde und aus der Perspektive des Fahrers über dem Lenkrad positioniert war. Im Head-up Display wurden zwei Dreiecke präsentiert. Das obere Dreieck symbolisierte die Fahrspurmitte und bewegte sich nicht. Das untere Dreieck zeigte die künftige Position des Fahrzeugs in der Fahrspur an und bewegte sich entsprechend der Fahrzeugposition in horizontaler Richtung (siehe Abbildung 7.2). Zur Berechnung der künftigen Fahrzeugposition wurde das Fahrzeug entlang seiner Ausrichtung um eine Vorausschauzeit in die Zukunft projiziert und der dann erreichte Abstand der Vorderräder zum Fahrspurrand ermittelt. Die Vorausschauzeit betrug auf den Geraden 1 s und in den Kurven 0.3 s. Die Fahrzeugposition wurde in 15 verschiedenen Stufen angezeigt. In der mittleren Anzeige zeigten die Pfeilspitzen beider Dreiecke aufeinander. Diese mittlere Anzeige repräsentierte einen Fahrschlauch von 1.8 m Breite in der Fahrspurmitte. Die Darstellung nur einer Anzeigestufe für einen breiten mittleren Fahrspurbereich stellte ebenfalls eine Modifi-

zierung des vorherigen Info-Assistenten dar, bei dem alle Stufen die gleiche Fahrspurbreite repräsentiert hatten und entsprach dem Probandenwunsch nach einer weniger differenzierten Information im mittleren Spurbereich. Die restlichen 14 Anzeigestufen zeigten ein gegenüber dem oberen Dreieck verschobenes unteres Dreieck. In 7 Stufen war es nach links, in 7 Stufen war es nach rechts verschoben. Diese Stufen bedeuteten, dass sich das Fahrzeug nach der Vorausschauzeit links bzw. rechts vom mittleren Fahrschlauch befand, wobei mit jeder Stufe der Abstand zum Fahrspurrand um 0.1 m abnahm. Die Anzeige der jeweils äußersten Stufe bedeutete, dass bei Beibehaltung der Fahrzeugausrichtung ein Überschreiten des Fahrspurrandes mit dem Vorderrad nach der Vorausschauzeit drohte. Zusammengefasst hatte der Info-Assistent die Funktion, den Fahrer vor allem in Richtung der Fahrspurränder differenziert über seine künftige Querablage zu informieren. Diese Information wurde kontinuierlich angeboten und visuell präsentiert.



Abb. 7.2: Info-Assistent bei leichter Fahraufgabe. Das obere Dreieck in der Anzeige symbolisierte die Fahrspurmitte. Das untere Dreieck zeigte anhand von 15 verschiedenen Positionen die künftige Querablage in Abhängigkeit vom künftigen Abstand der Vorderräder zum Fahrspurrand an. In der Abbildung sind die äußerste linke, die mittlere und die äußerste rechte Position dargestellt.

Warn-Assistent

Der Warn-Assistent setzte auf einer höheren Stufe der Informationsverarbeitung an als der Info-Assistent, da er neben der Information auch eine Interpretation der Situation lieferte und damit die Entscheidung des Fahrers zum Handeln unterstützte. Der Warn-Assistent wurde im Head-up Display dargestellt und zeigte die künftige Fahrzeugposition auf dieselbe Art und mit derselben Berechnung wie der Info-Assistent an. Er enthielt ebenfalls die gegenüber dem ersten Querführungsexperiment vorgenommenen Modifikationen hinsichtlich der vorausschauenden Berechnung und der unterschiedlich differenzierten Repräsentation der Fahrspurbereiche. Zusätzlich zum Info-Assistenten gab der Warn-Assistent in der linken und rechten äußersten Anzeigestufe eine visuelle und akustische Warnung aus. Ein Pfeil zeigte die Fahrtrichtung an, in die zu lenken war, um einen Spurübertritt zu vermeiden. Ein Warnton sollte die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die kritische Situation lenken. In Abbildung 7.3 sind beispielhaft 3 Anzeigestufen des Warn-Assistenten dargestellt. Ebenso wie der Info-Assistent sollte es der Warn-Assistent dem Fahrer erleichtern, seine künftige Position in der Spur und den Spurverlauf wahrzunehmen. Zusätzlich sollte durch die Warnung die Entscheidung unterstützt werden, wann und in welche Richtung zu lenken ist. Die Handlungsausführung blieb weiterhin beim Fahrer. Die Funktionalität des Warn-Assistenten bestand vor allem in der Warnung des Fahrers vor dem Verlassen der Spur. Gleichzeitig informierte der Assistent über die künftige Position auf der Fahrspur. Während die Information kontinuierlich und über die gesamte Fahrt erfolgte, wurde die Warnung nur zeitweise ausgegeben und erst in kritischeren Situationen. Die Warnung erfolgte visuell und auditiv.

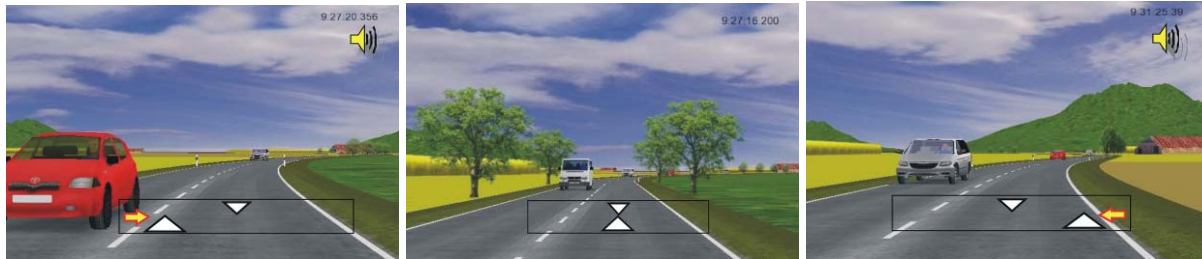


Abb. 7.3: Warn-Assistent bei leichter Fahraufgabe. Wie beim Info-Assistenten wurden in Abhängigkeit vom künftigen Abstand der Vorderräder zum Fahrspurrand 15 verschiedene Positionen des Fahrzeugs symbolisiert. Zusätzlich erfolgte beim Warn-Assistenten eine visuelle und akustische Warnung in den beiden äußersten Anzeigestufen.

Lenk-Assistent

Der Lenk-Assistent griff ein, wenn das Fahrzeug drohte, die Spur zu verlassen und unterstützte so die Handlungsausführung. Er stellte daher die höchste Automatisierungsstufe dar. Der Lenk-Assistent bestand aus zwei Komponenten. Er enthielt eine Bahnführungsfunktion, die das Fahrzeug durch ein auf das Lenkrad aufgebrachtes Drehmoment in der Spur halten konnte. Diese wurde defensiv parametrisiert, um die Bahnführungsaufgabe beim Fahrer zu belassen. Dadurch war der Lenk-Assistent im mittleren Fahrspurbereich für den Fahrer nur wenig zu spüren. Als zweite Komponente enthielt der Assistent eine Drehmomentschwelle, die beim Annähern an die Fahrspurgrenzen aktiv wurde, so dass der Fahrer für das Verlassen der Fahrspur mehr Kraft aufbringen musste. Das Drehmoment der Drehmomentschwelle war so gewählt, dass es vom Fahrer deutlich zu spüren war. Zeitgleich zur Drehmomentschwelle wurde eine Vibration auf das Lenkrad gegeben, um die Aufmerksamkeit des Fahrers zu erhöhen. Mit dieser Parametrisierung verhinderte der Assistent vor allem das Abkommen von der Fahrspur in Notfällen und sollte nicht der kontinuierlichen Unterstützung der Bahnführung dienen.

Wie Abbildung 7.4 zeigt, waren die Bahnführungsfunktion und die Drehmomentschwelle samt Vibration nur innerhalb bestimmter Fahrspurbereiche aktiv. Dazu wurde vom Fahrzeugschwerpunkt ausgehend ein Vorausschaupunkt in 0.1 s und die dazugehörige Querablage ausgehend von der Fahrspurmitte berechnet. Die Bahnführungsfunktion war aktiv bei Querablagen bis 2.5 m (in beide Richtungen). Bei einer Fahrspurbreite von 3 m war die Funktion somit über den gesamten Fahrspurbereich und 1 m über die Fahrspurgrenze hinaus aktiv. Die Drehmomentschwelle und die Vibration waren bei Querablagen zwischen 0.75 m und 2.5 m (in beiden Richtungen) aktiv. Ihr Aktivitätsbereich lag somit in zwei über den Fahrspurgrenzen liegenden Bereichen.

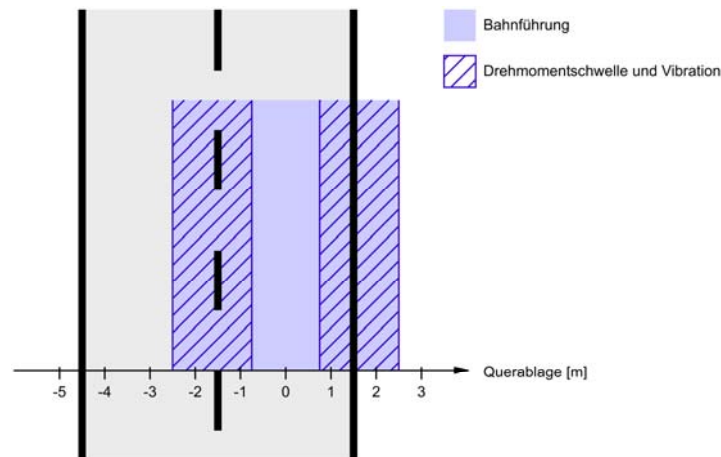


Abb. 7.4: Darstellung der Fahrspurbereiche (Betrachtung von oben), in denen die Bahnführungskomponente und die Drehmomentschwelle plus Vibration jeweils aktiv waren.

Die Stärke des aufgetragenen Drehmoments berechnete sich für die Bahnführungsfunktion und die Drehmomentschwelle mit unterschiedlichen Vorausschauzeitpunkten. Für die Bahnführungsfunktion wurde ein Vorausschauzeitpunkt in 1.7 s und die dazugehörige Gierwinkelabweichung errechnet. Dieses ist die Abweichung des Fahrzeuggierwinkels zum Kurswinkel der Fahrspurmitte. Die Erzeugung des Unterstützungsmoments erfolgte durch die Differenzbildung des vom Regler bestimmten Lenkradwinkels mit dem aktuell eingestellten Lenkradwinkel und die anschließende Multiplikation dieser Differenz mit einem Verstärkungsfaktor, der die Stärke der Bahnführungsunterstützung definierte. Mit der gewählten Parametrisierung konnte das Fahrzeug nicht autonom die Spur halten, so dass die Bahnführung nur schwach unterstützt wurde. Die Stärke der Drehmomentschwelle errechnete sich nach der Querablage im Vorausschauzeitpunkt nach 0.1 s und stieg in Richtung der Fahrspurränder exponentiell an. Das maximale Unterstützungsmoment lag knapp außerhalb der Fahrspur (bei einer lateralen Abweichung von 1.62 m) und betrug 2.66 Nm. Mit dieser Parametrisierung war die Drehmomentschwelle so ausgelegt, dass der Assistent als Notfallsystem ein Abkommen von der Fahrspur verhinderte und durch die Vibration den Fahrer zusätzlich warnte. Zusammengefasst bestand die wesentliche Funktion des Lenk-Assistenten darin, bei drohendem Verlassen der Fahrspur durch die Aktivität der Drehmomentschwelle einzugreifen und dieses durch Lenkradvibrationen zusätzlich anzuzeigen.

7.1.3 Versuchspersonen

Am Versuch nahmen 16 Personen teil. (jeweils 8 Männer und Frauen). Das Alter lag zwischen 26 und 53 Jahren (mittleres Alter: 35.3 Jahre, Standardabweichung: 7.8 Jahre). Die Probanden wurden per Zufall aus dem Testfahrerpool des DLR ausgewählt, wobei Personen zwischen 25 und 55 Jahren mit 5 Jahren Führerscheinbesitz und Fahrpraxis berücksichtigt wurden. Die Teilnahme am Versuch erfolgte freiwillig und wurde mit 8 Euro pro Versuchsstunde vergütet. Vor der Teilnahme an den Versuchsfahrten hatten alle Probanden das bereits beschriebene Testfahrertraining im Fahrsimulator absolviert, das je nach Versuchsperson 60 bis 100 Minuten dauerte. 4 Personen mussten das Training wegen Übelkeit abbrechen und nahmen nicht am Versuch teil.

7.1.4 Versuchsplan und -ablauf

Der Versuch wurde im Virtual Reality Labor des DLR durchgeführt, das in Kapitel 3.3 beschrieben wurde. Wie bereits dargestellt gab es 8 Versuchsbedingungen. Die Variable Aufgabenanforderung war aufgrund der Variation der Sichtbedingungen mit den Ausprägungen gute Sicht und Nebel zweifach gestuft. Die Variable Assistenzfunktion war vierfach gestuft mit den Ausprägungen Information, Warnung, Eingriff oder unassistiertes Fahren. Es handelte sich um einen vollständig gekreuzten Versuchsplan, alle 16 Versuchspersonen fuhren also alle 8 Bedingungen. Um Zeiteffekte zu kontrollieren, wurde ein Cross-Over-Plan verwendet, bei dem eine Hälfte der Versuchspersonen mit der leichten Aufgabe begann, die andere Hälfte mit der schwierigen. Zur Kontrolle von Positionseffekten wurde innerhalb einer Anforderungsbedingung die Reihenfolge der Assistenzbedingungen nach den Prinzipien des Lateinischen Quadrates ausbalanciert. Die Versuchsfahrten fanden je Proband an 2 Versuchstagen statt, getrennt nach leichter und schwieriger Aufgabe. Sie dauerten zwischen 2 Stunden 51 Minuten und 4 Stunden 36 Minuten. Eine Versuchsperson wurde beim Versuch vorzeitig ausgeschlossen, weil sie sich nicht an die Instruktionen hielt, und durch einen anderen Probanden ersetzt. Der Versuchsablauf ist in Tabelle 7.1 dargestellt.

Tab. 7.1: Ablauf eines Versuchstages.

Zeit	Einwilligungserklärung, Gesamtinstruktion, Fragebogen zum Befinden vor dem Versuch	
	Baselinemessung mit dem Physio-System	
	Trainingsstrecke	
	Simulator-fahrt, 4-mal, (einmal je Assistenzfunktion)	Lesen der Instruktion
		Übungsfahrt
		Versuchsfahrt
		Ausfüllen von Akzeptanzfragebogen und Schwierigkeitsfragebogen, Interview
	Vergleichsfragebogen der Akzeptanz	
	Fragebogen zum Befinden nach dem Versuch	

7.1.5 Strecke

Die Versuchspersonen fuhren auf einer Landstraße mit einer Spurbreite von 3 m. Das Streckenprofil war für die leichte und schwierige Aufgabe identisch und entsprach der schwierigen Strecke der ersten Querführungsstudie. Abbildung 7.5 zeigt einen Ausschnitt des Streckenprofils. Die Strecke bestand abwechselnd aus geraden und kurvigen Segmenten. Die Geraden waren im Durchschnitt 100 m lang. Die Kurven waren 200 m lang und hatten im Durchschnitt einen Radius von 450 m, so dass die Fahrer beim Durchfahren der Kurven eine Drehung um etwa 25 ° vollzogen. Rechts- und Linkskurven kamen gleich häufig vor. Um eine Gewöhnung der Fahrer an das Streckenprofil zu verhindern, wurden die Länge der Geraden und die Radien der Kurven leicht variiert. Die Geraden waren entweder 75 m, 100 m oder 125 m lang. Die Kurven hatten einen Radius von 430 m, 450 m oder 470 m. Die verschiedenen Längen bzw. Radien kamen etwa gleich häufig vor. Die Abfolge der verschiedenen Längen, Radien und der Kurvenorientierung war zufällig. In der leichten Aufgabe gab es jeweils 38 Kurven und Geraden. Da die Fahrtzeit in beiden Aufgaben vergleichbar sein sollte und in der Nebelfahrt mit einer niedrigeren Geschwindigkeitwahl gerechnet wurde, war die Strecke in der schwierigen Aufgabe auf jeweils 35 Kurven und Geraden verkürzt. Um die Fahrt ab-

wechsungsreicher zu gestalten, wechselte die Vegetation am Fahrbahnrand und es waren einige Häuser dargestellt.

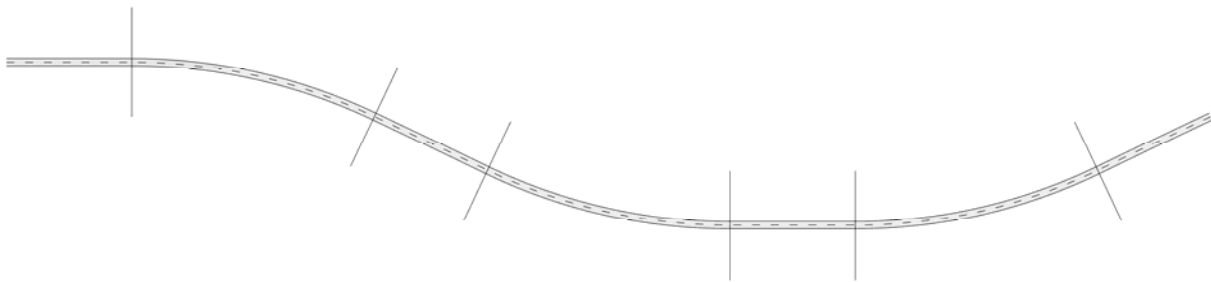


Abb. 7.5: Ausschnitt des Streckenprofils der leichten und schwierigen Aufgabe.

7.1.6 Fragebogen zur Bewertung der Aufgabenanforderungen

In einem Fragebogen bewerteten die Versuchspersonen die Aufgabenanforderungen nach jeder Fahrt anhand der bereits beschriebenen 15-stufigen Kategorienunterteilungsskala nach Heller (Heller, 1982). Es wurden verschiedene Anforderungsaspekte erfragt. Die Versuchspersonen sollten eine Gesamteinschätzung der Anforderungshöhe abgeben und eine Bewertung der Aktivitätshäufigkeit. Vor dem Hintergrund der verschiedenen Stufen im Informationsverarbeitungsprozess sollten sie außerdem bewerten, wie schwierig die Wahrnehmung aller notwendigen Informationen, die Entscheidung zu lenken und das Lenken selbst waren. Die restlichen Fragen lehnten sich an den NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) an. Darin bewerteten die Versuchspersonen ihre Leistung, die notwendige Anstrengung und die mentalen, zeitlichen und körperlichen Anforderungen.

7.1.7 Fragebogen zur Akzeptanzbewertung

Im selbst erstellten Akzeptanzfragebogen bewerteten die Versuchspersonen die Assistenzsysteme in Bezug auf deren Funktionalität, Gestaltung, Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit. Die Beurteilung erfolgte anhand der bereits beschriebenen 15-stufigen Kategorienunterteilungsskala. Die Fragebögen wurden direkt nach Nutzung jedes Systems ausgefüllt. Nach dem Versuch wurde in einem Vergleichsfragebogen eine Platzierung der Assistenzsysteme für die genannten 4 Bereiche vorgenommen.

7.1.8 Interview zur Nutzung der Assistenzsysteme

Mit Hilfe eines selbst erstellten Interviewleitfadens wurden die Versuchspersonen nach jeder Fahrt zur Nutzung des Assistenzsystems befragt. Im ersten Teil des halbstandardisierten Interviews sollten die Probanden beschreiben, wie sie bei der Fahrt die notwendigen Informationen aufgenommen, Entscheidungen getroffen und die Lenkhandlung ausgeführt hatten. Im zweiten Teil sollten sie beschreiben, wie sie den Assistenten genutzt hatten und wie er bei der Informationsaufnahme, Entscheidung und Handlung geholfen hatte. Zum Schluss sollten die Probanden angeben, bei welchem der drei Prozesse der Assistent am meisten geholfen hatte.

7.2 Ergebnisse

Die Wirkung der Assistenzsysteme wurde anhand objektiver und subjektiver Daten erhoben, um sowohl die objektive Fahrleistung als auch die Sicht der Probanden über die Systeme zu erfassen. Zunächst wird der subjektive Nutzen dargestellt, ob und welche Systeme aus Sicht der Probanden also die Aufgabenanforderungen reduzieren konnten. Es folgt die Darstellung der Fahrdaten, die beschreiben wie die objektive Fahrleistung mit den Systemen war und welche Systemmerkmale unterstützend wirkten. Als drittes werden physiologische Beanspruchungsparameter dargestellt, die beschreiben, ob sich die Auswirkungen in den Fahrdaten auch in Beanspruchungsminderungen widerspiegeln. Die vierte Perspektive betrachtet, inwieweit die Fahrer die Systeme akzeptiert haben und wie sie die verschiedenen Systemmerkmale bewertet haben. Wie bereits bei den Längsführungsexperimenten beschrieben, wurde auch in diesem Experiment auf eine Korrektur der kumulierten Fehlerwahrscheinlichkeiten verzichtet. Da sich im vorliegenden Experiment im Vergleich zu den Längsführungsexperimenten eindeutigere Effekte zeigten, werden signifikante Ergebnisse auf dem 5 % - Niveau bzw. tendenziell signifikante Ergebnisse auf dem 10 % - Niveau berichtet.

Zuvor wird jedoch zunächst dargestellt, inwieweit die geplante Manipulation der unabhängigen Variablen Aufgabenanforderungen und Assistenzfunktion gelungen ist.

7.2.1 Manipulationskontrolle

Zur Untersuchung der Fragestellung wurden als unabhängige Variablen die Aufgabenanforderungen und die Assistenzstrategie variiert. In der Manipulationskontrolle sollte überprüft werden, ob die Manipulation der Aufgabenanforderungen und die Umsetzung der Assistenzsysteme in Bezug auf ihre Aktivität und ihre Nutzung erfolgreich waren.

Bewertungen der Aufgabenanforderungen in den unassistierten Fahrten

Der Vergleich der Bewertungen in den unassistierten Fahrten zeigte, ob die Versuchspersonen bei guten Sichtbedingungen geringere Anforderungen empfanden als bei Nebel wenn sie die Fahrt ohne Unterstützung absolvieren mussten. Der Inhalt des Fragebogens wurde in Kapitel 7.1.6 beschrieben. Die Werte wurden vor der Auswertung auf Antwortplausibilität, Ausreißer und Extremwerte überprüft. Unplausibel waren Antworten beispielsweise dann, wenn sie inhaltlich stark von den anderen Antworten abwichen und bei Fragen auftraten, deren Skala im Vergleich zu den anderen Skalen umgekehrt gepolt ist. Das Antwortverhalten aller Probanden erschien plausibel. Extremwerte traten nicht auf. Bei den Ausreißern handelte es sich um wenige Werte unterschiedlicher Versuchspersonen. Da ein fehlerhaftes Antwortverhalten nicht erkennbar war, wurden die Originalwerte übernommen. Die Auswertung erfolgte durch einen t-Test für abhängige Stichproben. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Versuchspersonen die schwierige Aufgabe in der Gesamteinschätzung auch als schwieriger wahrnahmen ($t(15) = -5.83$, $p < .001$). Sie empfanden dann höhere zeitliche ($t(15) = -4.22$, $p = .001$) und mentale ($t(15) = -3.63$, $p < .05$) Anforderungen, aber keinen Unterschied bei den körperlichen Anforderungen. Korrespondierend dazu wurden bei der schwierigen Aufgabe die Informationsaufnahme ($t(15) = -4.02$, $p = .001$) und die Handlungsplanung ($t(15) = -4.35$, $p = .001$) als fordernder wahrgenommen, aber nicht die Handlungsausführung. Aus ihrer Sicht mussten sich die Versuchspersonen bei der schwierigen Aufgabe außerdem stärker anstrengen um ihre Leistung zu erreichen ($t(15) = -3.36$, $p < .05$) und lösten dann aber die unterschiedlichen Anforderungen gleichermaßen gut. Bei der schwierigen Aufgabe war tendenziell mehr Aktivität notwendig ($t(15) = -2.1$, $p = .053$). Abbildung 7.6 zeigt die Bewertungen der zeitlichen und mentalen Anforderungen.

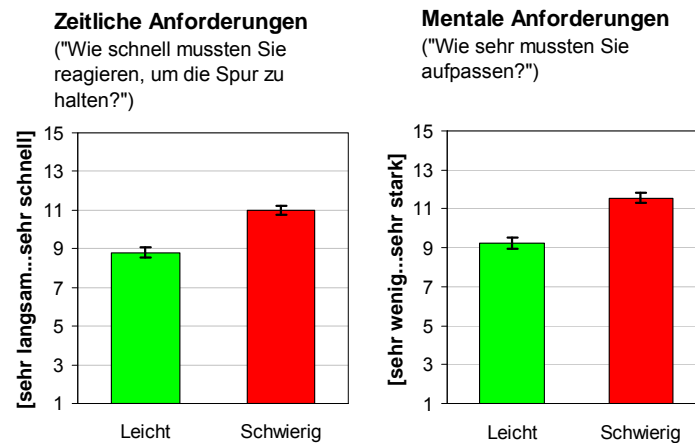


Abb. 7.6: Beurteilung der zeitlichen und mentalen Aufgabenanforderungen der unassistierten Fahrten bei guten Sichtverhältnissen (jeweils linker Balken) und bei Nebel (Manipulationskontrolle). Die Fehlerbalken stellen die Standardfehler des Mittelwertes dar.

Aktivität der Assistenzsysteme

Als zweite unabhängige Variable wurde die Assistenzfunktion mit den Funktionen Information, Warnung und Eingriff variiert. Die Funktionen waren an unterschiedliche Zeitpunkte gekoppelt, zu denen die Assistenzsysteme aktiv wurden. Um zu kontrollieren, ob die Variation erfolgreich war, wurde erhoben, ob die Assistenzsysteme in allen Stufen aktiv waren und ob sie zeitlich gestaffelt aktiv waren.

Zur Kontrolle der Assistenzaktivität wurde die Dauer der einzelnen Assistenzstufen erhoben. Abbildung 7.7 stellt die jeweiligen Fahrzeitanteile für den Info- und den Warn-Assistenten dar. In der Abbildung repräsentiert Stufe 8 die Fahrspurmitte als künftige Position. In den niedrigeren Stufen wurden die Fahrzeitanteile von jeweils zwei symmetrisch um den mittleren Fahrschlauch liegenden Assistenzstufen zusammengefasst. Die Abbildung zeigt, dass beide Assistenten sowohl bei guter als auch bei schlechter Sicht in allen Assistenzstufen aktiv waren. Bei beiden Assistenten zeigte sich eine Interaktion bzw. eine tendenzielle Interaktion der Assistenzstufen und der Aufgabenanforderungen (Info-Assistent: $F(7,98) = 6.9$, $p < .001$; Warn-Assistent: $F(7,98) = 1.9$, $p = .076$). Dies bedeutet, dass Assistenzstufen, die die Fahrspurmitte repräsentierten, länger bei der leichten als bei der schwierigen Aufgabe angezeigt wurden. Umgekehrt wurden Assistenzstufen, die den Fahrspurrand repräsentierten, länger bei der schwierigen Aufgabe angezeigt. Dieses Anzeigeverhalten erschien plausibel, da sich die Fahrer in der leichten Aufgabe wahrscheinlich eher im mittleren und in der schwierigen Aufgabe eher im äußeren Fahrspurbereich befanden.

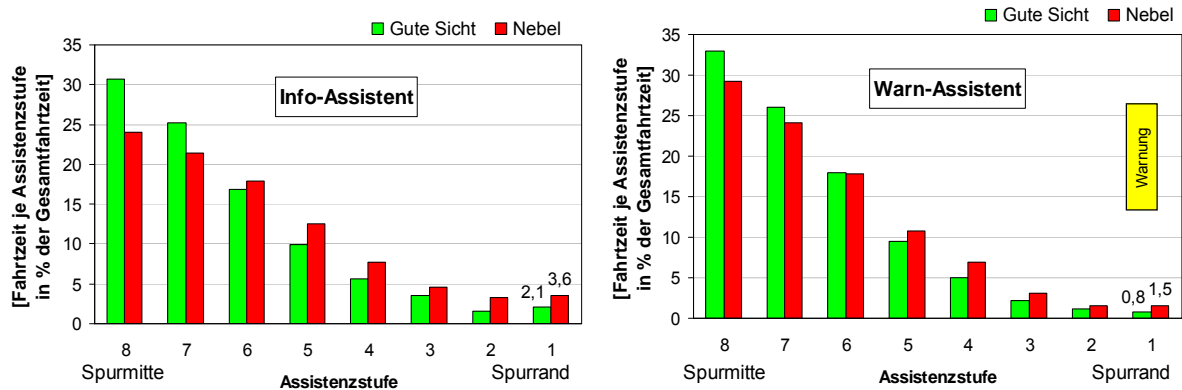


Abb. 7.7: Aktivität von Info-Assistent (links) und Warn-Assistent (rechts). Dargestellt ist, wie lange jede Assistenzstufe in Prozent der Fahrzeit angezeigt wird. Stufe 8 zeigt eine künftige Position in der Fahrspurmitte an. In den anderen Stufen sind jeweils zwei symmetrisch um den mittleren Fahrschlauch liegende Assistenzstufen zusammen gefasst.

Neben der Assistenzaktivität in den verschiedenen Assistenzstufen wurde außerdem erhoben, ob die Assistenzsysteme zeitlich gestaffelt aktiv waren. Dazu wurde verglichen, bei welcher Querablage das jeweilige Assistenzsystem warnte oder eingriff bzw. in der höchsten Stufe informierte. Der Vergleich der Querablage in der höchsten Assistenzstufe zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(2,14) = 50$, $p < .001$). Bei Info- und Warn-Assistent wurde mit der höchsten Stufe informiert bzw. gewarnt, wenn die Fahrer eine Querablage von 0.46 m bzw. 0.48 m erreicht hatten. Das entsprach einem Abstand von 0.24 m bzw. 0.22 m zwischen Fahrzeug und Fahrspurrand. Die Vergleichbarkeit der beiden Querablagen deutet darauf hin, dass die Verwendung desselben Algorithmus bei Info- und Warn-Assistent auch zu einem ähnlichen Anzeigeverhalten führte. Der Lenk-Eingriff erfolgte bei einer Querablage von 0.72 m und damit signifikant später als die Warnung. Die Fahrer hatten dann die Fahrspur um 0.02 m überschritten. Somit lässt sich die Aktivität der Assistenzsysteme als zeitlich gestaffelt beschreiben. Als kontinuierliche Assistenz waren der Info-Assistent bzw. die informierende Komponente des Warn-Assistenten aktiv. Warnungen wurden dann ausgegeben, wenn der Fahrer dicht an den Fahrspurrand gelangte und die Situation daher kritischer geworden war. Die Aktivität des Lenk-Assistenten erforderte eine weitere Zunahme der Kritikalität, da er erst aktiv wurde, wenn die Spur überschritten wurde. Der Zeitpunkt des Lenk-Assistenten war bewusst so spät gewählt worden, um innerhalb der Fahrspur das unbeeinflusste Fahrerverhalten beobachten zu können und dem Fahrer selbst die Möglichkeit zur Ausführung der Fahraufgabe zu geben. Dieses führte allerdings auch dazu, dass der Lenk-Assistent Spurübertritte nicht verhindern konnte. So kam es bei der nebligen Aufgabe mit dem Lenk-Assistenten zu 52 Spurübertritten, während es mit dem Warn-Assistenten 34 Spurübertritte gab.

Die zeitliche Staffelung spiegelte sich in der Häufigkeit wider, mit der die Systeme aktiv waren. Abbildung 7.8 zeigt die absolute Anzahl der Warnungen und Eingriffe je nach Sichtbedingung. Aufgrund seiner kontinuierlichen Informationsdarbietung wurde der Info-Assistent nicht in die Darstellung einbezogen. Da der Eingriff erst bei höherer Kritikalität erfolgte als die Warnung, gab es bei Nebel nominal weniger Eingriffe als Warnungen. Beide Assistenten waren außerdem bei Nebel aufgrund der dann vermutlich stärkeren Spurschwankungen häufiger aktiv als bei guter Sicht ($Z(32)$, $p < .05$).

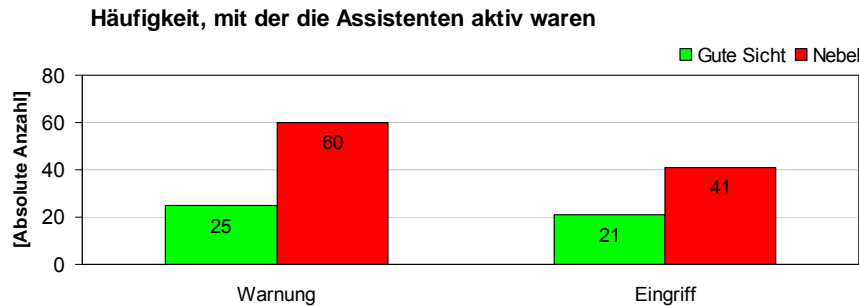


Abb. 7.8 Aktivität des Warn-Assistenten und des Eingriffs bei guter Sicht und bei Nebel. Dargestellt sind die absoluten Häufigkeiten, mit der die Assistenten aktiv waren. Da der Info-Assistent kontinuierlich informierte, wurde er nicht in die Darstellung einbezogen.

Nutzung der Assistenzsysteme

Anhand des in Kapitel 7.1.8 beschriebenen Interviewleitfadens wurden die Probanden nach der Fahrt zur Nutzung der Assistenzsysteme befragt.

In einer offenen Frage konnten die Probanden beschreiben, ob und wie sie den Assistenten für sich genutzt hatten. Die Antworten wurden anhand ähnlicher Nutzungsweisen kategorisiert. Den Info-Assistenten nutzten 7 Probanden zur Kontrolle ihrer eigenen Wahrnehmung. Diese Kontrolle wurde oftmals so beschrieben, dass sie „nur einem selbst“ diene. Ein Proband nutzte den Info-Assistenten zum Erkennen des Straßenverlaufs und ein Proband als Entscheidungshilfe zu lenken. 7 Probanden nutzten den Assistenten gar nicht, weil sie ihn störend fanden. Als störend wurde das Bewegen der Dreiecke empfunden, das oftmals als Springen wahrgenommen wurde und nervös machte. Außerdem störte etliche Probanden die ablenkende Wirkung des Assistenten. Beim Warn-Assistenten nutzten 6 Probanden die Dreiecke zur Erkennung des Straßenverlaufs. Davon sagte ein Proband explizit er habe den Assistenten als Sichtersatz genutzt. 5 Probanden fanden die Warnfunktion durch Ton und Pfeile hilfreich. 4 Probanden nutzten den Warn-Assistenten gar nicht, weil er sie störte. Als störende Merkmale wurden wie beim Info-Assistenten das Springen der Dreiecke und die ablenkende Wirkung benannt. Außerdem wurde beklagt, dass es schwierig und aufwändig sei die Dreiecke übereinander zu halten. Der Warnton wurde von einer Person als erschreckend und einer Person als zu spät bewertet. Ein Proband fand den Ton zu freundlich. Beim Lenk-Assistenten wurde von 6 Probanden die informierende Bahnführungskomponente genutzt, während 4 Probanden angaben, diese Komponente nicht wahrgenommen zu haben. 4 Probanden nutzten die Vibration bzw. den Eingriff und 5 Probanden nutzten alle Komponenten. Positiv bewertet wurde das ruhige und sichere Fahrgefühl.

Als weiteren Interviewbestandteil sollten die Probanden zuordnen, ob der jeweilige Assistent am meisten bei der Informationsaufnahme, bei der Entscheidung oder bei der Handlungsausführung geholfen hatte. Tabelle 7.2 zeigt die Anzahl der Antworten für die Nebelbedingung. Für jeden Assistenten sollte nur eine Alternative benannt werden. Jeweils 3 Personen gaben an, dass der Info- bzw. der Lenk-Assistent gar nicht geholfen hatten. 2 Personen meinten, dass der Warn-Assistent nicht geholfen hatte. Von den restlichen Probanden wurde der Nutzen des Info- und des Warn-Assistenten überwiegend bei der Informationsaufnahme gesehen. Der Lenk-Assistent wurde von den meisten Probanden am nützlichsten für die Handlungsausführung wahrgenommen, aber auch von einigen Personen als nützlich für die Entscheidung. Eine Person gab an, dass der Lenk-Assistent in allen 3 Aspekten geholfen hatte. Somit wurde der Nutzen des Info-Assistenten wie konzipiert bei der Informationsauf-

nahme gesehen. Der Warn-Assistenten wurde eher als nützlich für die Informationsaufnahme als für die Entscheidungsunterstützung wahrgenommen. Der Lenk-Assistent wurde nicht nur als nützlich für die Handlungsausführung empfunden, sondern auch für die Entscheidung, zum richtigen Zeitpunkt zu reagieren.

Tab. 7.2: Angaben der Versuchspersonen im Interview auf die Frage „Wo hat der Assistent am meisten geholfen? Bei der Informationsaufnahme, bei der Entscheidung oder bei der Handlungsausführung? Angegeben ist die Anzahl der Antworten.

	Info-Assistent	Warn-Assistent	Lenk-Assistent
Informationsaufnahme	10	11	2
Entscheidung	2	1	5
Handlungsausführung	1	2	8

Die Interviewergebnisse zeigten insgesamt, dass der Lenk-Assistent von den meisten Probanden und der Info-Assistent von den wenigsten Probanden genutzt wurde. Der Info-Assistent wurde vor allem zur Kontrolle der eigenen Wahrnehmung genutzt und weniger als originäre Informationsquelle. Dagegen diente beim Warn-Assistenten die informierende Komponente eher der Erkennung des Straßenverlaufs und der eigenen Position. Trotz gleicher Gestaltung der beiden Informations-Komponenten wurde also der Warn-Assistent stärker in die Erfüllung der Fahraufgabe eingebunden als der Info-Assistent, möglicherweise gab er aufgrund der zusätzlichen Warnung mehr Sicherheit. Die Regelung der Querablage anhand der Dreiecke wurde allerdings bemängelt und stellte eher eine zusätzliche Aufgabe neben der Fahraufgabe dar. Neben der informierenden Komponente nutzten etliche Probanden die Warnung des Assistenten zur Lenkkorrektur. Insgesamt wurde der Warn-Assistent jedoch vor allem als nützlich für die Informationsaufnahme wahrgenommen. Beim Lenk-Assistenten fiel auf, dass etliche Probanden angaben, die Bahnführungsfunktion genutzt zu haben, obwohl sie sehr defensiv parametrisiert war. Andere Probanden hatten die Bahnführungsfunktion hingegen nicht gespürt. Es bleibt daher unklar, inwieweit der Lenk-Assistent möglicherweise bereits innerhalb der Fahrspur die Fahrer unterstützte und nicht erst bei Spurüberschreitungen. Entsprechend wurde der Lenk-Assistent nicht nur als Unterstützung zur Handlungsausführung wahrgenommen, sondern auch als nützlich für die Entscheidung zu lenken.

Zusammengefasst sprechen die Ergebnisse für eine gelungene Variation der unabhängigen Variablen. Die Fahrten bei Nebel wurden von den Probanden insgesamt als schwieriger wahrgenommen als die Fahrten bei guter Sicht. Sie erforderten vor allem eine hohe Aufmerksamkeit und zügiges Reagieren. Wie mit der Manipulation der unterschiedlichen Sichtverhältnisse während der Fahrt intendiert, wurde die Informationsaufnahme als unterschiedlich fordernd wahrgenommen, während die Handlungsausführung keine Aufgabenanforderung darstellte. Neben der Informationsaufnahme war aber auch die Entscheidung zu handeln fordernd. Die Auswertung der Aktivität der Assistenzsysteme zeigte, dass die Assistenten in allen Stufen aktiv waren und die unterschiedlichen Funktionen je nach Kritikalität zeitlich gestaffelt aktiv waren. Die Interviews zur Nutzung der Assistenzsysteme zeigten, dass die Assistenten etwa entsprechend ihrer Funktion verwendet wurden. Allerdings wurde der Info-Assistent kaum in die Fahraufgabe eingebunden und der Lenk-Assistent schien über die

Unterstützung der Handlungsausführung hinaus auch mindestens die Handlungsplanung zu unterstützen.

7.2.2 Bewertung der Aufgabenanforderungen in den Versuchsbedingungen

Der Vergleich der Aufgabenanforderungen in allen 8 Versuchsbedingungen zeigte, ob die Versuchspersonen die Aufgaben bei Unterstützung durch die verschiedenen Assistenten unterschiedlich fordernd empfanden. Die Anforderungsbewertungen wurden mit den in Kapitel 7.1.6 beschriebenen Fragebögen erhoben und wurden – im Unterschied zur Manipulationskontrolle – für alle Versuchsbedingungen analysiert. Die Antworten wurden vor der Auswertung auf Antwortplausibilität und Ausreißer geprüft. Wie in der Manipulationskontrolle gab es keine Hinweise auf unplausible Antworten oder auf erforderliche Korrekturen von Ausreißern, so dass die Originalantworten für die Auswertung verwendet wurden. Die Auswertung erfolgte durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung und dem Zwischensubjektfaktor Reihenfolge.

Die Ergebnisse zeigten in allen Bewertungsaspekten Haupteffekte der Assistenzfunktion. Die Anforderungen wurden mit dem Lenk-Assistenten in allen Aspekten mit Ausnahme der körperlichen Anforderungen als geringer wahrgenommen im Vergleich zur unassistierten Fahrt bzw. zu den anderen Assistenten. So wurde die Gesamteinschätzung der Anforderungen mit dem Lenk-Assistenten als geringer eingeschätzt als ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenzsystemen ($F(3,42) = 14.6, p < .001$). Aus Sicht der Versuchspersonen reduzierte der Lenk-Assistent die mentalen Anforderungen ($F(3,42) = 11.1, p < .001$) und die zeitlichen Anforderungen ($F(3,42) = 11.6, p < .001$) stärker als alle anderen Assistenzbedingungen. Die körperlichen Anforderungen ($F(3,42) = 4.9, p < .05$) waren allerdings ähnlich wie bei der unassistierten Fahrt und nur im Vergleich zum Warn-Assistenten geringer. Die Probanden gaben außerdem an, dass die 3 im Zusammenhang mit der Informationsverarbeitung erfragten Anforderungen mit dem Lenk-Assistenten leichter fielen, nämlich die Informationsaufnahme ($F(3,42) = 17.3, p < .001$), die Entscheidung zu handeln ($F(3,42) = 10.9, p < .001$) und die Handlungsausführung ($F(3,42) = 10.2, p < .001$). Aktivitätsmenge, notwendige Anstrengung und Einschätzung der eigenen Leistung wurden ebenso mit Lenk-Assistent besser bewertet. Alle Bewertungen mit Ausnahme der Handlungsausführung zeigten außerdem Haupteffekte des Faktors Aufgabenanforderungen. Stets wurde die schwierige Aufgabe als fordernder wahrgenommen als die leichte. Interaktionen zwischen Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen gab es nicht. Abbildung 7.9 zeigt die mentalen, zeitlichen und körperlichen Anforderungen bei Nutzung der Assistenten.

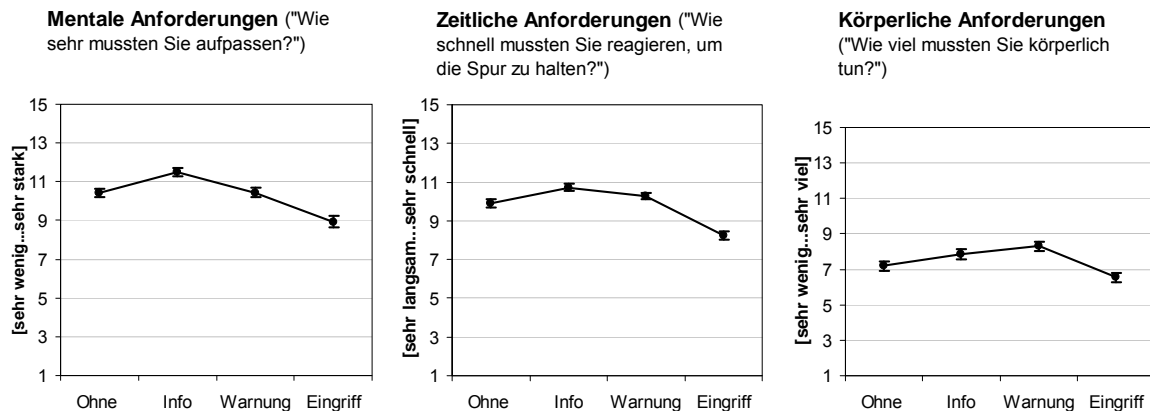


Abb. 7.9: Bewertungen der mentalen, zeitlichen und körperlichen Aufgabenanforderungen durch die Versuchspersonen in Abhängigkeit vom genutzten Assistenzsystem.

Zusammengefasst konnte der Lenk-Assistent die meisten Aufgabenanforderungen am deutlichsten reduzieren. Er wirkte allerdings bei leichter und schwieriger Aufgabe gleichermaßen entlastend und nicht spezifisch in Bezug auf Anforderungen, die sich durch die Nebelfahrt stellten. Die Probanden nahmen außerdem die Nebelfahrt in allen Aspekten mit Ausnahme der Handlungsausführung als fordernder wahr als die leichte Aufgabe.

7.2.3 Fahrdaten

Im folgenden Abschnitt wird das Fahrverhalten in den verschiedenen Assistenzbedingungen beschrieben. Die Fahrdaten beschreiben objektiv, wie die Versuchspersonen mit den einzelnen Assistenzkonzepten bzw. ohne Assistenz fuhren und ermöglichen Schlüsse darüber, welche Systemmerkmale unterstützend oder weniger unterstützend wirkten. Wie in der Darstellung der Fahraufgabe bereits beschrieben, sollten die Versuchspersonen bei guter Sicht bzw. bei Nebel einer kurvigen Landstraße folgen. Die Strecke bestand aus 35 bzw. 38 Kurven, die sich mit geraden Streckenabschnitten abwechselten. Die Auswertung beschränkte sich auf die Kurvensegmente, da dort die Querführung anspruchsvoller war als auf den Geradenabschnitten. Um zuverlässige Aussagen über die Wirkungsweise der Assistenzsysteme treffen zu können, war es wichtig, in die Auswertung ausschließlich ein in Bezug auf den Lernverlauf stabiles Fahrverhalten der Probanden einzubeziehen. Im Unterschied zum ersten Querführungsexperiment konnten sich die Probanden die Aufgabe durch die Wahl ihrer Geschwindigkeit vereinfachen oder erschweren. Der zeitliche Verlauf der mittleren Geschwindigkeit und der Standardabweichung der Geschwindigkeit zeigte daher, wann die Probanden zu einem stabilen Verhalten gefunden hatten. Für die Auswertung wurde die Gesamtstrecke in 7 Abschnitte unterteilt, so dass in jedem Abschnitt jeweils die Werte von 5 Kurvensegmenten gemittelt wurden. Um die gleiche Anzahl von Kurven für beide Anforderungsbedingungen miteinander zu vergleichen, wurden die letzten 3 zusätzlichen Kurven der leichten Strecke nicht verwendet. Abbildung 7.10 zeigt die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung der Geschwindigkeit der 7 Streckenabschnitte.

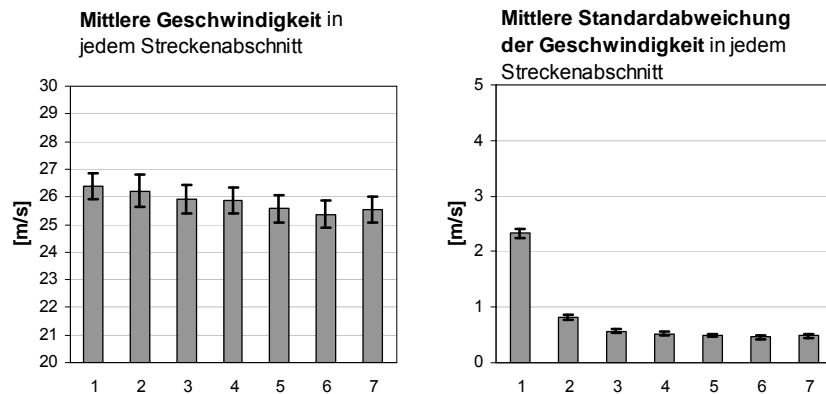


Abb. 7.10: Fahrverhalten der Probanden im zeitlichen Verlauf. Dargestellt sind die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung der Geschwindigkeit für die 7 Streckenabschnitte.

Die mittlere Geschwindigkeit unterschied sich tendenziell zwischen den einzelnen Abschnitten ($F(2.5, 35.1) = 2.4, p = .086$). Sie reduzierte sich wenig in jedem Streckenabschnitt und war im sechsten Abschnitt am niedrigsten. Die Standardabweichung der Geschwindigkeit unterschied sich signifikant zwischen den einzelnen Abschnitten ($F(1.4, 20.1) = 62.5, p < .001$). Die Geschwindigkeitsvariation war im ersten und zweiten Abschnitt signifikant höher als in den anderen Abschnitten. Somit passten die Probanden ihre Geschwindigkeit im Streckenverlauf nur wenig an, sie benötigten jedoch die ersten beiden Abschnitte, um zu einem gleichmäßigen Geschwindigkeitsverhalten zu finden. In die Auswertung der Fahrdaten wurden daher die Streckenabschnitte 3 bis 7 mit insgesamt 25 Kurvensegmenten einbezogen. Jedem Streckenabschnitt lagen gemittelt die Werte aus 5 Kurvensegmenten zugrunde. Die Daten wurden auf Ausreißer und Extremwerte untersucht. Für die Auswertung konnten die Daten aller Versuchspersonen verwendet werden, die anhand einer dreifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung analysiert wurden. Neben den Faktoren Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen wurde der Streckenabschnitt als dritter Faktor in der Auswertung berücksichtigt. Die absolvierte Reihenfolge der Aufgabenanforderungen ging als Zwischensubjektfaktor ein. Die Voraussetzungen für die Berechnung einer Varianzanalyse wurden geprüft. Bei Verletzung der Sphärizität werden die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte berichtet. In der Ergebnisdarstellung werden die Haupteffekte von Assistenzfunktion, Aufgabenanforderungen und Streckenabschnitt berichtet, sowie die Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen. Berichtet werden alle signifikanten Ergebnisse. Nicht signifikante Ergebnisse werden berichtet, sofern dieses zum Erkenntnisgewinn beiträgt. Es werden zunächst die Ergebnisse zur Querführung, dann zur Längsführung dargestellt. Zum Schluss wird das Fahrverhalten mit den einzelnen Assistenten zusammenfassend beschrieben.

Querführung

Die Variablen zur Querführung beschreiben, wie die Versuchspersonen die Fahraufgabe, die Spur genau zu halten, mit den einzelnen Assistenten ausführten. Wie in der ersten Studie zur Querführung sind die Variablen gegliedert nach Spurhaltemaßen und Lenkmaßen.

Spurhaltemaße

Spurhaltemaße beschreiben die Position des Fahrzeugs in der Fahrspur. Für jede Variable werden zunächst die Haupteffekte der Assistenzfunktion und Interaktionen von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen beschrieben. Zum Schluss werden die Effekte der Auf-

gabenanforderungen und des Streckenabschnitts dargestellt. Tabelle 7.3 zeigt die ausgewerteten Spurhaltemaße.

Tab. 7.3: Spurhaltemaße, aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

	Variablen	Haupteffekt Assistenzfunktion	Interaktion Assistenzfunktion u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Streckenabschnitt
Querführung	Anzahl von Spurüberschreitungen nach rechts	.012	.924	.022	.121
	Relative Dauer von Spurüberschreitungen n. rechts	.016	.492	.913	.398
	Anzahl von Spurüberschreitungen nach links	.101	.277	.022	.117
	Relative Dauer von Spurüberschreitungen n. links	.252	.443	.035	.357
	Mittlere laterale Position	.000	.072	.034	.003
	Maximale laterale Position nach rechts	.000	.524	.001	.001
	Maximale laterale Position nach links	.003	.027	.238	.253
	Standardabweichung der lateralen Position	.451	.092	.026	.003
	Minimale Zeit bis zum Spurübertritt (TLC)	.046	.999	.511	.000
	Relative Dauer mit TLC < 1 s	.000	.002	.068	.000

Insgesamt kam es in allen Versuchsfahrten zu 401 Spurüberschreitungen. In 91 % der Fälle wurde die Spur in Richtung des rechten Fahrspurrandes überschritten und in 9 % nach links. Die Spurüberschreitungen nach rechts unterschieden sich je nach Assistenzfunktion sowohl in Bezug auf ihre Anzahl ($F(3,42) = 4.1$, $p < .05$) als auch auf die Dauer ($F(3,42) = 3.8$, $p < .05$). Wie Abbildung 7.11 zeigt, reduzierten alle Assistenten die Anzahl der Spurübertritten gegenüber der unassistenten Fahrt. Mit dem Warn-Assistenten und dem Lenk-Assistenten wurde die Fahrspur am seltensten verlassen und dauerten Spurübertritte am kürzesten. Die Spurüberschreitungen nach links unterschieden sich weder in ihrer Anzahl ($F(3,42) = 2.2$, $p = .101$) noch in ihrer Dauer ($F(3,42) = 1.4$, $p = .252$) zwischen den Assistenzbedingungen.

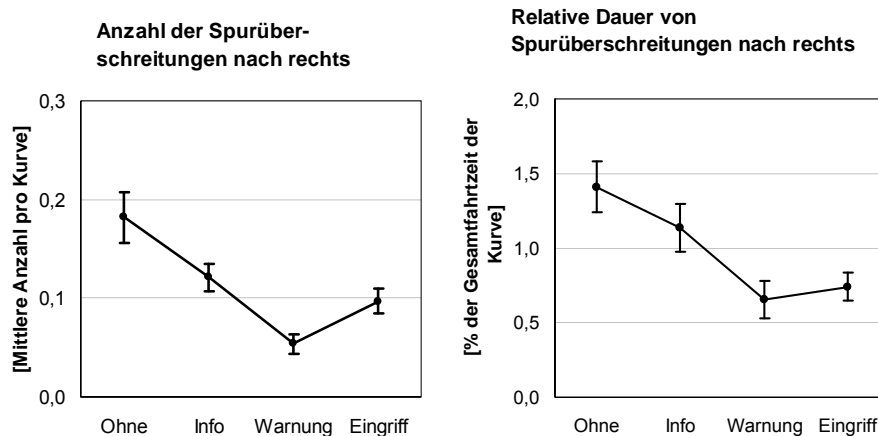


Abb. 7.11: Anzahl der Spurüberschreitungen nach rechts (links) und relative Dauer der Spurüberschreitungen nach rechts (rechts). Angegeben ist jeweils der Durchschnittswert je Kurve.

Die mittlere laterale Position beschreibt, wie sich die Versuchspersonen in der Spur positionierten und zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,42) = 13.9$, $p < .001$) und eine tendenzielle Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen ($F(1.8,25.8) = 2.9$, $p = .072$). Die Versuchspersonen fuhren mit und ohne Assistenz im Durchschnitt rechts von der Spurmitte. Mit dem Warn-Assistenten fuhren sie jedoch gerade bei der nebligen Fahrt nicht so weit rechts wie in den anderen Assistenzbedingungen. Ohne Assistenz fuhren sie am weitesten rechts.

Betrachtet man, wie weit die Fahrspur maximal nach rechts und links befahren wurde, so zeigten sich die gleichen Effekte. Mit dem Warn-Assistenten wurde am wenigsten weit nach rechts gefahren ($F(3,42) = 11.8$, $p < .001$) und etwas weiter nach links als ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten ($F(3,42) = 7.2$, $p < .05$). Die Fahrer hielten also mit dem Warn-Assistenten gerade nach rechts in Richtung der zahlenmäßig relevanten Spurüberschreitungen mehr Abstand. Wie in Abbildung 7.12 zu sehen, war der genutzte Fahrschlauch mit dem Warn-Assistenten weiter links in der Fahrspur platziert. Die maximale laterale Position auf der linken Spurhälfte zeigte außerdem eine Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen ($F(3,42) = 3.3$, $p < .05$). Mit Assistenz wurde der Fahrschlauch bei Nebel nach links ausgeweitet, ohne Assistenz geschah dieses nicht.

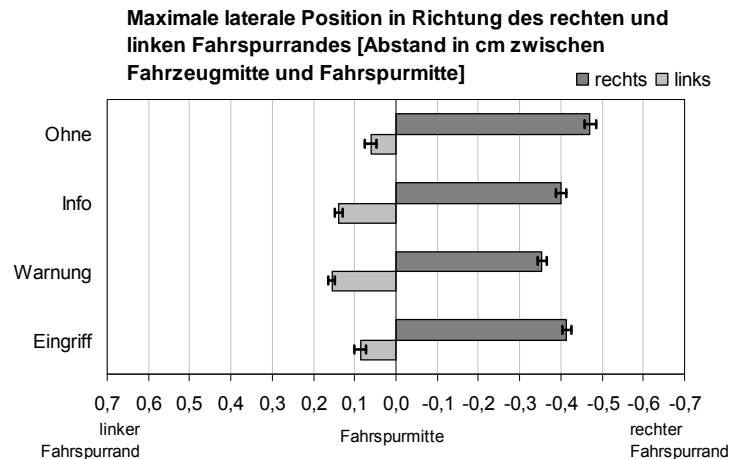


Abb. 7.12: Maximale laterale Position in Richtung des rechten und des linken Fahrspurrandes je nach Assistenzbedingung. Dargestellt sind die Fahrspurmitte bei einer lateralen Position von 0.0 m und der rechte bzw. linke Fahrspurrand bei - 0.7 m bzw. 0.7 m.

Die Standardabweichung der lateralen Position beschreibt die Abweichungen von der individuellen Mittelspur. Hier zeigte sich kein Unterschied der Assistenzbedingungen, jedoch eine tendenzielle Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen ($F(3,42) = 2.2$, $p = .092$). Bei Nebel traten tendenziell stärkere Schwankungen in der Spur auf, wenn die Fahrer den Info-Assistenten nutzten, als wenn sie ohne oder mit den anderen Assistenten fuhren.

Die Zeit bis zum Spurübertritt (Time to Line Crossing, TLC) beschreibt, wie viel Zeit bis zu einem Spurübertritt verblieb wenn die aktuelle Fahrzeugausrichtung und Geschwindigkeit beibehalten wurde. Ein Minimum der TLC trat dann auf, wenn der Fahrer auf den Fahrspurrand zusteuerte und dann eine Lenkkorrektur vornahm. Die minimale TLC beschreibt daher, bei welchem zeitlichen Abstand zum Fahrspurrand die Fahrer Lenkkorrekturen vornahmen und zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,42) = 2.9$, $p < .05$). Abbildung 7.13 zeigt, dass mit Warn- und Info-Assistent die Lenkrichtung früher korrigiert wurden als mit dem Lenk-Assistenten oder ohne Assistenz.

Bei der Betrachtung der Dauer, die die Fahrer relativ zur Gesamtfahrtzeit mit einer TLC unter 1 Sekunde verbrachten, zeigte sich ein Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,42) = 8.4$, $p < .001$). Wie in Abbildung 7.13 zu sehen, wurde mit dem Lenk-Assistenten mehr Zeit mit geringem Zeitabstand zum Fahrspurrand verbracht als mit den anderen Assistenten. Die relative Dauer mit TLC unter 1 Sekunde hing außerdem von der Assistenzfunktion in Interaktion mit den Aufgabenanforderungen ab ($F(3,42) = 5.7$, $p < .05$). Mit dem Lenk-Assistenten wurde bei guter Sicht und Nebel vergleichbar viel Zeit mit geringen TLC verbracht. Mit Info- und Warn-Assistent wurde jedoch bei Nebel weniger Zeit mit geringen TLC verbracht als bei guter Sicht. Bei der Interpretation des Wertes ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Variable von der Geschwindigkeit beeinflusst wird. Bei hoher Geschwindigkeitswahl liegt eine TLC von 1 Sekunde in größerer Distanz zum Fahrspurrand als bei niedriger Geschwindigkeit. Der relative Fahrzeitanteil beruht dann auf einem breiteren Fahrtstreifen und fällt möglicherweise deswegen höher aus. Da die Geschwindigkeiten der einzelnen Assistenten erst unten dargestellt werden, folgt die Interpretation des Fahrzeitanteils in der Zusammenfassung.

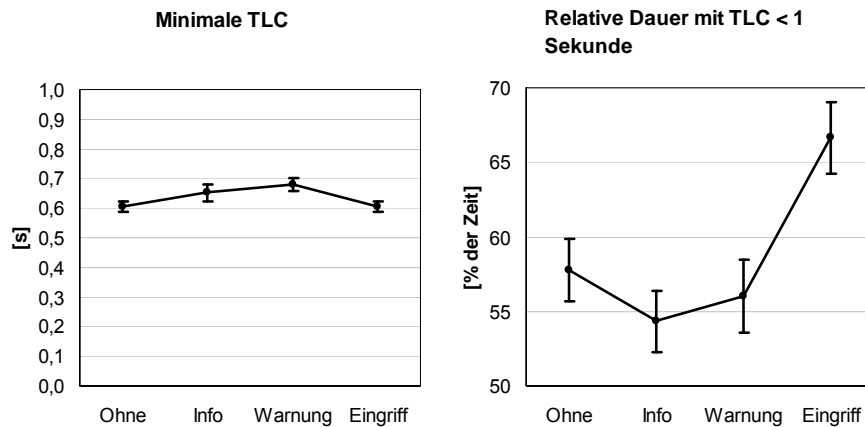


Abb. 7.13: Minimale Zeit bis zur Spurüberschreitung TLC (links) und Anteil der Fahrzeit, der relativ zur Gesamtfahrzeit mit einer TLC von weniger als 1 Sekunde verbracht wurde (rechts).

Die Spurhaltung unterschied sich in etlichen Maßen zwischen den beiden Aufgabenanforderungen und gelang grundsätzlich bei der Nebelfahrt schlechter als bei guter Sicht. Spurüberschreitungen traten bei der nebligen Aufgabe häufiger auf als bei guter Sicht und zwar sowohl nach rechts ($F(1,14) = 6.5, p < .05$) als auch nach links ($F(1,14) = 6.6, p < .05$). Spurüberschreitungen nach rechts dauerten in beiden Anforderungsbedingungen gleich lange, nach links dauerten sie bei Nebel länger als bei guter Sicht ($F(1,14) = 5.4, p < .05$). Die mittlere Positionierung innerhalb der Spur war bei Nebel weiter rechts als bei guter Sicht ($F(1,14) = 6.2, p < .05$) und entsprechend wurde dann die Spur weiter nach rechts befahren ($F(1,14) = 19.9, p = .001$). Schwankungen innerhalb der Spur waren bei Nebel höher als bei guter Sicht ($F(1,14) = 6.2, p < .05$). Im Gegensatz zu den genannten Variablen war die Dauer von geringen Sekundenabständen (TLC unter 1 Sekunde) jedoch bei Nebel günstiger - nämlich kürzer - als bei guter Sicht, möglicherweise ist dieses aber auf die dann niedrigere Geschwindigkeit zurückzuführen.

Die Spurhaltung veränderte sich außerdem in Abhängigkeit vom Streckenabschnitt. Mittlere Spurpositionierung ($F(4,56) = 4.5, p < .05$) und maximale rechte laterale Position ($F(4,56) = 5.8, p = .001$) verschoben sich zum Fahrtende in Richtung des rechten Fahrspurrandes. Schwankungen innerhalb der Spur nahmen zum Fahrtende hin zu ($F(4,56) = 4.5, p < .05$). Die minimalen Zeiten bis zum Spurübertritt ($F(4,56) = 7.5, p < .001$) und die Fahrdauer mit niedrigen Zeitabständen ($F(4,56) = 12.7, p < .001$) schwankten von Streckenabschnitte zu Streckenabschnitt und zeigten keine Verschlechterung über die Zeit.

Lenkmaße

Lenkmaße beschreiben das Lenkverhalten des Fahrers. Für jede Variable werden wieder zunächst Haupteffekte der Assistenzfunktion und Interaktionseffekte von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen beschrieben. Zum Schluss werden die Haupteffekte der Aufgabenanforderungen und des Streckenabschnitts dargestellt. Tabelle 7.4 zeigt die Lenkmaße.

Tab. 7.4: Lenkmaße, aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

	Variablen	Haupteffekt Assistenzfunktion	Interaktion Assistenzfunktion u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Streckenabschnitt
Querführung	Standardabweichung des Lenkradwinkels	.479	.595	.539	.488
	Steering Wheel Reversal Rate $> 1^\circ$, Anzahl / Minute	.018	.018	.000	.319
	Steering Wheel Reversal Rate $> 5^\circ$, Anzahl / Minute	.897	.004	.027	.319

Die Standardabweichung des Lenkwinkels beschreibt das Ausmaß der Lenkradbewegungen und zeigte keine Unterschiede zwischen den Assistenzbedingungen.

Die Steering Wheel Reversal Rate beinhaltet die Anzahl aller Lenkrichtungswechsel pro Minute ab einer Winkeldifferenz im Lenkwinkelsignal von 1 Grad bzw. 5 Grad. Die Anzahl kleiner Korrekturen mit mindestens 1 Grad Lenkwinkeldifferenz zeigte eine Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen ($F(3,42) = 3.7$, $p < .05$). Wie in Abbildung 7.14 zu sehen, fanden bei Nebel mit dem Lenk-Assistenten seltener kleine Lenkkorrekturen statt als in den anderen Assistenzbedingungen. Die Anzahl stärkerer Lenkkorrekturen mit mindestens 5 Grad Winkeldifferenz zeigte ebenfalls eine Interaktion ($F(3,42) = 5.1$, $p < .05$). Abbildung 7.14 zeigt, dass die Probanden mit Info- oder Warn-Assistent bei Nebel häufig stärkere Lenkkorrekturen vornahmen als bei guter Sicht. Mit dem Lenk-Assistenten waren hingegen bei guter und schlechter Sicht ähnlich viele starke Korrekturen nötig. Sowohl bei kleinen als auch bei großen Lenkkorrekturen gab es einen Haupteffekt des Zwischensubjektfaktors. Die Probanden, die im Versuch mit der leichten Aufgabenbedingung begonnen hatten, nahmen häufiger kleine ($F(1,14) = 6.7$, $p < .05$) und große Lenkkorrekturen ($F(1,14) = 4.6$, $p < .05$) vor als die Probanden, die mit der nebligen Fahrt begonnen hatten.

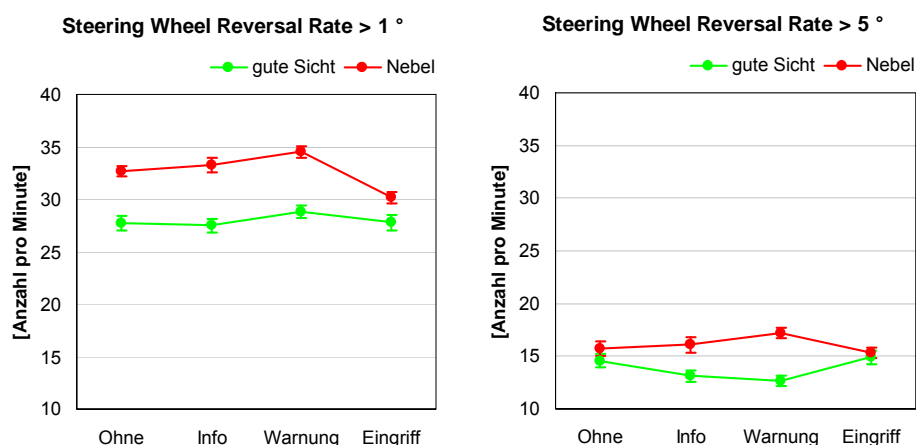


Abb. 7.14: Anzahl der Lenkradwinkelkorrekturen pro Minute mit einer Winkeldifferenz von 1 Grad (links) und 5 Grad (rechts).

Die Lenkmaße zeigten Haupteffekte der Aufgabenanforderungen. Im Nebel nahm die Anzahl kleiner ($F(1,14) = 6.1$, $p < .05$) und großer Lenkkorrekturen ($F(1,14) = 38.7$, $p < .001$) im Vergleich zur Fahrt bei guten Sichtbedingungen zu.

Längsführung

Die Variablen zur Längsführung beschreiben, wie sich die Versuchsbedingungen auf die Fahrzeuglängsführung auswirkten. Tabelle 7.5 zeigt die Variablen.

Tab. 7.5: Variablen zur Längsführung, aufgeführt sind alle Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

	Variablen	Haupteffekt Assistenzfunktion	Interaktion Assistenzfunktion u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Streckenabschnitt
Längsführung	Mittlere Geschwindigkeit	.000	.054	.002	.090
	Standardabweichung der Geschwindigkeit	.709	.299	.031	.203

Die mittlere Geschwindigkeit zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,42) = 14.4$, $p < .001$). Wie Abbildung 7.15 zeigt, wurde mit dem Lenk-Assistenten schneller gefahren als in den anderen Assistenzbedingungen. Außerdem zeigte die Interaktion, dass im Nebel bei Nutzung des Lenk-Assistenten die Geschwindigkeit tendenziell nicht so stark reduziert wurde, wie das in den anderen Assistenzbedingungen geschah ($F(3,42) = 2.7$, $p = .054$).

Die Assistenzbedingungen wirkten sich nicht unterschiedlich auf Schwankungen im Geschwindigkeitsverhalten aus.

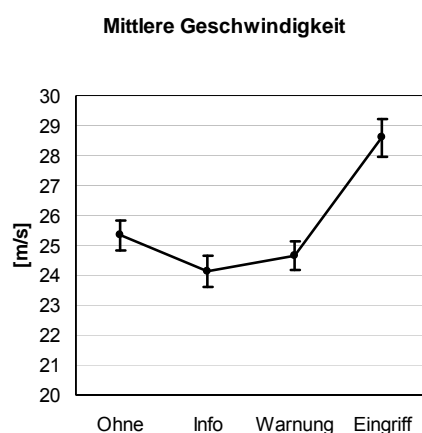


Abb. 7.15: Mittlere Geschwindigkeit je nach Assistenzbedingung.

Die Längsführung wurde auch durch die unterschiedlichen Aufgabenanforderungen und den Zeitverlauf beeinflusst. Bei der Nebelfahrt wurde langsamer gefahren als bei guter Sicht ($F(1,14) = 14.9$, $p < .05$) und stärker in der Geschwindigkeit geschwankt ($F(1,14) = 5.7$, $p < .05$). Mit zunehmender Fahrtzeit reduzierte sich die Geschwindigkeit tendenziell ($F(4,56) = 2.5$, $p = .090$).

Zusammengefasst erwiesen sich in Bezug auf das Vermeiden von Spurübertretungen alle Assistenten als nützlich gegenüber der unassistenten Fahrt. Zahlenmäßig relevant waren vor allem Spurüberschreitungen nach rechts, möglicherweise wollten die Probanden Übertritte nach links aufgrund des Gegenverkehrs unbedingt vermeiden. Gerade Überschreitungen nach rechts konnten alle Assistenten gegenüber der unassistenten Fahrt reduzieren, wobei der Warn-Assistent die Anzahl und Dauer der Spurübertretungen am stärksten reduzierte.

Ursächlich für die Unterschiede in den Spurüberschreitungen könnte das unterschiedliche Fahrverhalten innerhalb der Fahrspur sein. Ohne Assistenz traten die meisten und längsten Spurüberschreitungen auf. Hier fuhren die Probanden am weitesten rechts in der Fahrspur und korrigierten erst spät beim Zusteuern auf den Fahrspurrand die Lenkrichtung. Dagegen fiel der Warn-Assistent dadurch auf, dass die Fahrer ihren Fahrschlauch weiter links in der Fahrspur wählten und im Maximum nicht so weit an den rechten Spurrand gelangten. Sie nahmen häufig kleine Lenkkorrekturen vor und korrigierten früher die Lenkrichtung bevor sie auf den Fahrspurrand zusteuerten. Mit dem Warn-Assistenten konnte also das Verhalten innerhalb der Fahrspur so rechtzeitig geregelt werden, dass es zu wenig Spurüberschreitungen kam. Der Info-Assistent führte zu einem ähnlichen Verhalten wie der Warn-Assistent in Bezug darauf, dass häufig kleine Lenkkorrekturen vorgenommen wurden und früh die Lenkrichtung korrigiert wurde. Jedoch fuhren die Probanden mit ihm weiter rechts in der Fahrspur als mit dem Warn-Assistenten und schwankten bei Nebel stärker in der Fahrspur. Dadurch gab es mit dem Info-Assistenten häufiger und länger andauernde Spurübertritte als mit dem Warn-Assistenten. Beim Lenk-Assistenten fiel die hohe Geschwindigkeitswahl der Fahrer auf. Dieses Verhalten lässt sich möglicherweise mit dem Phänomen der Risikohomöostase (Wilde, 1982) erklären, da sich die Fahrer mit dem Lenk-Assistenten so sicher fühlten, dass sie eine höhere Geschwindigkeit wählten als in den anderen Bedingungen. Die Fahrer korrigierten mit dem eingreifenden Assistenten die Lenkung erst spät beim Annähern an den Fahrspurrand, so dass viel Fahrtzeit mit einem Zeitabstand von weniger als 1 Sekunde zum Fahrspurrand verbracht wurde. Wie oben beschrieben, könnte der Fahrzeitanteil mit TLC unter 1 Sekunde durch die hohe Geschwindigkeitswahl zustande gekommen sein. Allerdings führte der Lenk-Assistent auch dazu, dass die Probanden im Maximum die Fahrspur weiter nach rechts ausfuhren und seltener kleine Lenkkorrekturen vornahmen. Dieses spricht dafür, dass die Fahrer bei Nutzung des Lenk-Assistenten durchaus näher an den Fahrspurrand gelangt waren bevor sie handelten.

Insgesamt ermöglichte der Warn-Assistent das kontrollierteste Fahrverhalten innerhalb der Fahrspur. Zum einen waren die Fahrer gut in der Spur positioniert und zum anderen bewirkte der Assistent, dass sie ihr Lenkverhalten frühzeitig durch häufige kleine Korrekturen anpassen konnten, wenn sie sich dem Fahrspurrand näherten. Spurüberschreitungen konnten so oftmals vermieden werden. Der Lenk-Assistent beeinflusste das Fahrverhalten der Fahrer innerhalb der Spur hingegen wenig und griff erst beim Überschreiten der Spur ein. Dadurch gab es mehr Spurüberschreitungen als mit dem Warn-Assistenten. Die Anzahl der Überschreitungen könnte allerdings durch eine offensivere Parametrisierung in Form eines früheren Eingriffszeitpunktes reduziert werden.

7.2.4 Physiologische Beanspruchungsmessung

Physiologische Parameter messen die objektive Beanspruchung des Fahrers und ergänzen daher die subjektiven Beanspruchungswerte aus Sicht der Fahrer sowie die objektiven Fahrdaten über die unterstützende Wirkung der verschiedenen Assistenten. Als Beanspruchungsparameter wurde die Herzrate erhoben, aus der für jeden Streckenabschnitt die mittleren Differenz-IBI errechnet wurden. Die Differenz-IBI beschreiben die mittlere Differenz aus der Herzrate im Versuch und der Herzrate in einer Ruhephase vor dem Versuch. Eine positive Differenz deutet auf eine geringere Beanspruchung im Versuch gegenüber der Ruhephase hin, da die Zeit zwischen den R-Zacken steigt. Die genaue Berechnung des Wertes und die Definition von Ausreißern wird im allgemeinen Teil beschrieben. In 6 Datensätzen lagen geringe IBI vor, die manuell korrigiert wurden, indem zwei aufeinander folgende Werte ad-

diert wurden (VP 241 IL, VP 241 IS, VP 241 WS, VP 260 WS, VP 658 OL, VP 328 IL). Vermutlich handelte es sich hier um ein Aufzeichnungsproblem, da der addierte Wert genau der Differenz zwischen den beiden Zeitstempeln entsprach. Die Daten wurden in einer dreifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet. Es zeigten sich weder ein Haupteffekt der Assistenzfunktion ($F(3,42) = 0.5$, $p = .688$) noch eine Interaktion von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen ($F(3,42) = 0.9$, $p = .446$). Die Beanspruchung unterschied sich allerdings im Streckenverlauf ($F(4,56) = 2.9$, $p = .029$). Somit führte kein Assistenzsystem zu einer physiologischen Beanspruchungsminderung. Die Beanspruchung nahm über alle Assistenten hinweg jedoch im Zeitverlauf zu.

7.2.5 Akzeptanzbeurteilungen der Assistenzsysteme

Mit den Akzeptanzfragebögen beurteilten die Versuchspersonen die Funktionalität, Gestaltung, Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit der Assistenzsysteme. Die subjektiven Bewertungen zeigen, welche Systemmerkmale hilfreich oder nicht hilfreich waren und ergänzen daher die anderen Datenquellen. Anhand der Fragen zur *Funktionalität* sollten die Probanden zum Beispiel die informierende, warnende und eingreifende Art der Assistenz bewerten. Im Teil *Gestaltung* wurde die oberflächliche Ausgestaltung der Systeme bewertet. Das betrifft zum Beispiel den Zeitpunkt wenn der Assistent aktiv wurde und die Menge an übermittelter Information. Die Fragen zur *Benutzerfreundlichkeit* betrafen die Interaktion mit dem System, beispielsweise die Verständlichkeit der Systemaktivität. Mit den Fragen zur *Nützlichkeit* sollten die Probanden bewerten, wie hilfreich die Assistenten für die Fahraufgabe waren. Die Fragebögen wurden direkt nach jeder Fahrt ausgefüllt. Vor der statistischen Auswertung werden die Daten auf Ausreißer und Extremwerte untersucht. 5 Antworten erschienen unplausibel, da das Antwortverhalten der vorherigen Fragen beibehalten wurde obwohl die Skala umgekehrt gepolt war (VP658, A_EL_C3 und C4, VP658, A_ES_C3, VP260, A_IS_C3 und C4). Die Werte wurden gelöscht und mit Hilfe des Imputationsverfahrens ersetzt. Bei den anderen Ausreißern und Extremwerten war nicht auszuschließen, dass es sich um die tatsächliche Meinung der Versuchspersonen gehandelt hat, so dass die Werte übernommen wurden. Die Akzeptanzdaten wurden mithilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet. Die Reihenfolge, in der die Aufgabenanforderungen absolviert wurden, wurde als Zwischensubjektfaktor berücksichtigt. Im Unterschied zu den Versuchen zur Längsführung gab es hier keine Akzeptanzbefragungen nach der unassistierten Fahrt, da sich keines der im Fahrzeug bereits vorhandenen Systeme als Vergleichssystem anbot.

Zusätzlich zu den Fragebögen zu den einzelnen Assistenzsystemen füllten die Versuchspersonen am Ende des Versuchstages einen Vergleichsfragebogen aus, in dem sie für Funktionalität, Gestaltung, Nützlichkeit und Benutzerfreundlichkeit für jedes System einen Platz zwischen 1 (beste Bewertung) und 3 (schlechteste Bewertung) vergaben und einen Preis angaben, zu dem sie das System erwerben würden. 3 Versuchspersonen vergaben in einigen Items denselben Platz für zwei Assistenzsysteme und bei einem Item fehlte die Platzvergabe für zwei Assistenzsysteme. In diesen Fällen wurden die beiden gleichen oder fehlenden Plätze durch den Platz 1.5 oder 2.5 ersetzt, so dass die Summe aller 3 vergebenen Plätze immer 6 ergab. Die Vergleichsfragebögen wurden mit dem Friedman-Test ausgewertet. Im Folgenden werden alle signifikanten Unterschiede in den Akzeptanzbeurteilungen der 4 Bereiche vorgestellt, zum Schluss folgt der Vergleichsfragebogen.

Funktionalität

Tabelle 7.6 zeigt die signifikanten Unterschiede bei der Bewertung der Funktionalität der Assistenzsysteme.

Tab. 7.6: Fragen zur Bewertung der Funktionalität der Assistenzsysteme. Dargestellt sind die Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie finden Sie die hinter dieser Art von Fahrerassistenz stehende Idee?	.013	.470	.401
Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent Sie informiert bzw. warnt bzw. eingreift?	.007	.042	.127
Wie finden Sie den Inhalt (künftige Position bei Info- und Warn-Assistent bzw. optimaler Lenkwinkel bei Lenk-Assistent)?	.043	.654	.906
Wie finden Sie es, dass der Assistent kontinuierlich informiert (Anzeige bei Info- und Warn-Assistent, Bahnführung bei Lenk-Assistent)?	.012	.968	.823
Wie finden Sie es, dass der Assistent zeitweise warnt (Pfeile und Ton bei Warn-Assistent, Vibration bei Lenk-Assistent)?	.012	.919	.134
Wie häufig haben Sie die Funktionen für Ihre Spurhaltung genutzt?	.191	.221	.392

Sämtliche Bewertungen der Funktionalität mit Ausnahme der Nutzungshäufigkeit zeigten einen Haupteffekt der Assistenzfunktion. Der Lenk-Assistent wurde durchgehend mit gut bewertet und gegenüber dem Info- und dem Warn-Assistenten bevorzugt. Die *Gesamtbewertung* der Funktionalität („Wie finden Sie die hinter dieser Art von Fahrerassistenz stehende Idee?“) wurde bei Info- und Warner zwar schlechter als beim Eingriff bewertet ($F(2,28) = 7$, $p < .05$) aber auch noch mit „gut“. Dasselbe galt bei der Bewertung der *Unterstützungsart* („Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent sie informiert bzw. warnt bzw. eingreift?“, $F(2,28) = 5.8$, $p > .05$). Dabei wurde die Unterstützungsart des Warn-Assistenten für die neblige Aufgabe schlechter bewertet als bei guter Sicht ($F(1,14) = 3.5$, $p < .05$). Kritischer fiel beim Warn- und Info-Assistenten hingegen die Bewertung von *Assistenzinhalt* und *-dauer* aus. Die Probanden fanden die Information über die künftige Spurposition ($F(2,28) = 4.5$, $p < .05$) und die kontinuierliche Information beider Assistenten darüber ($F(2,28) = 7$, $p < .05$) jeweils schlechter als beim Eingriff und nur mittelmäßig. Die beim Warn-Assistenten neben der kontinuierlichen Information zusätzliche zeitweise Warnung wurde wiederum für gut befunden („Wie finden Sie es, dass der Assistent zeitweise warnt“, $F(1,14) = 8.2$, $p < .05$). Die *Nutzungshäufigkeit* („Wie häufig haben Sie die Funktionen des Assistenten für die Spurhaltung genutzt?“) unterschied sich nicht zwischen den Assistenten. Abbildung 7.16 zeigt die Bewertungen der Unterstützungsart, bei denen auch Info- und Warn-Assistent gut bewertet wurden, und die Bewertungen zu Assistenzinhalt und -dauer, bei denen Info- und Warn-Assistent mittelmäßig bewertet wurden.

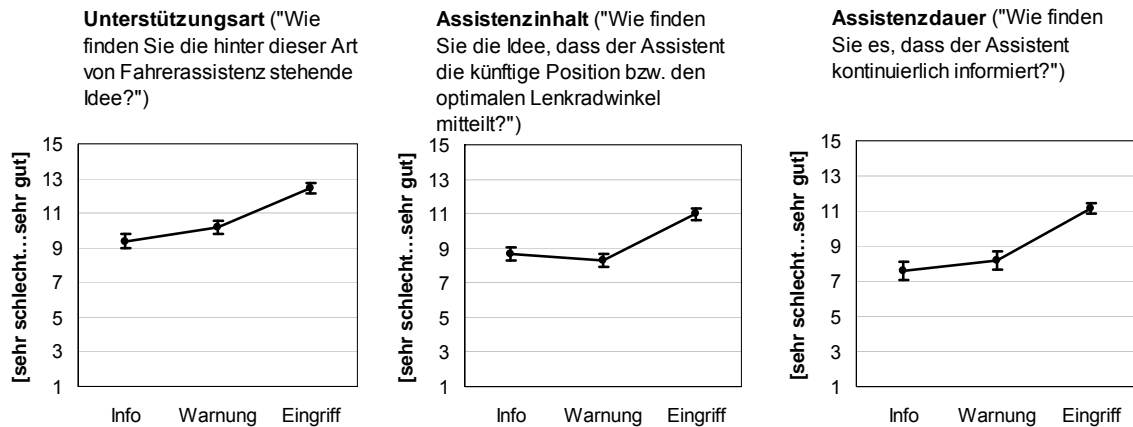


Abb. 7.16: Akzeptanzbewertungen zur Funktionalität. Dargestellt sind die Bewertung der Nützlichkeit, des Assistenzinhalts und der Assistenzdauer.

Gestaltung

Tabelle 7.7 zeigt, in welchen Gestaltungsaspekten sich die Assistenzsysteme unterscheiden.

Tab. 7.7: Fragen zur Bewertung der Gestaltung der Assistenzsysteme. Dargestellt sind die Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?	.002	.881	.676
Wie finden Sie es, dass die Information visuell bzw. die Warnung visuell und auditiv bzw. der Eingriff haptisch erfolgt?	.010	.367	.726
Wie gefällt Ihnen die grafische bzw. grafische und akustische bzw. haptische Gestaltung?	.000	.844	.647
Wie finden Sie die Menge der mitgeteilten Informationen?	.000	.669	.164
Wie gefällt Ihnen der Zeitpunkt wenn der Assistent aktiv wird? (Nur bei Warn- und Lenk-Assistent)	.653	.563	.425

Mit Ausnahme des Aktivitätsbeginns zeigten alle Bewertungen zur Gestaltung einen Haupteffekt der Assistenzfunktion mit jeweiliger Bevorzugung des Lenk-Assistenten. Die *Gesamtbeurteilung* („Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?“) fiel für den Lenk-Assistenten gut aus und für Info- und Warn-Assistent mittelmäßig ($F(2,28) = 10.9$, $p < .05$). Die gleichen Unterschiede traten auf bei der Bewertung der verwendeten *Sinnesmodalität* („Wie finden Sie es, dass die Information visuell bzw. die Warnung visuell und auditiv bzw. der Eingriff haptisch erfolgt?“) und der *Oberflächengestaltung* („Wie gefällt Ihnen die grafische bzw. grafische und akustische bzw. haptische Gestaltung?“). Die übermittelte *Informationsmenge* („Wie finden Sie die Menge der mitgeteilten Informationen?“) wurde für den Lenk-Assistenten als genau richtig bewertet, für den Info- und den Warn-Assistenten hingegen als zu viel ($F(2,28) = 24.7$, $p < .001$). Allein der *Zeitpunkt des Aktivitätsbeginns* („Wie gefällt Ihnen der Zeitpunkt wenn der Assistent aktiv wird?“) wurde für Warn- und Lenk-Assistent nicht

unterschiedlich und mit „genau richtig“ bewertet ($F(1,14) = 0.2$, $p = .653$). Abbildung 7.17 zeigt die aus Sicht des Warn-Assistenten positive Bewertung des Aktivitätsbeginns und kritische Beurteilung der Oberflächengestaltung und der Informationsmenge.

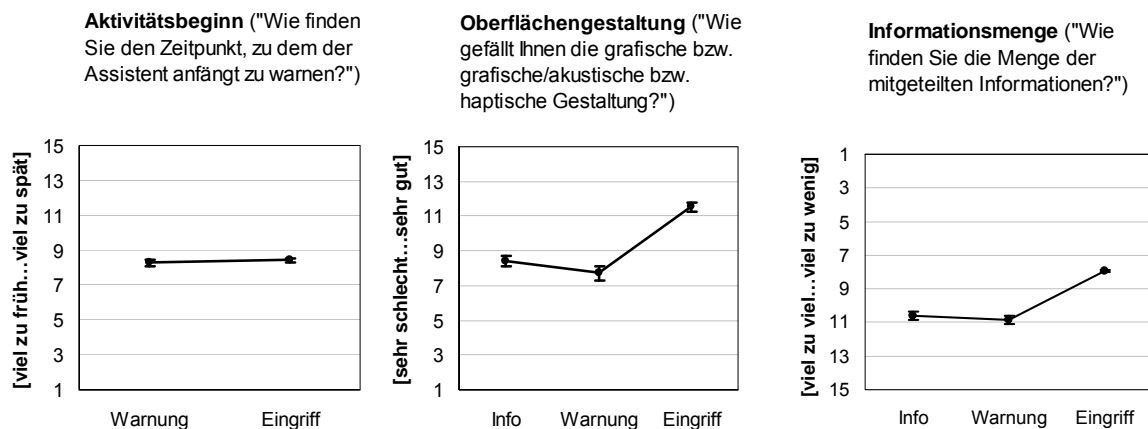


Abb. 7.17: Akzeptanzbewertungen zur Gestaltung. Dargestellt sind die Bewertung des Aktivitätsbeginns, der Oberflächengestaltung und der Informationsmenge.

Benutzerfreundlichkeit

Tabelle 7.8 zeigt, wie die Benutzerfreundlichkeit bewertet wird.

Tab. 7.8: Fragen zur Bewertung der Benutzerfreundlichkeit der Assistenzsysteme. Dargestellt sind die Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie bewerten Sie die Benutzerfreundlichkeit insgesamt?	.001	.061	.887
Wie schnell sind Sie mit diesem Assistenten klargekommen?	.001	.172	.379
Wie schwierig finden Sie es, den Assistenten zu benutzen?	.000	.688	.040
Wie klar und verständlich ist das, was der Assistent tut?	.033	.219	.500

Alle Antworten zur Benutzerfreundlichkeit zeigten einen Haupteffekt der Assistenzfunktion. In der *Gesamtbewertung* („Wie bewerten Sie die Benutzerfreundlichkeit insgesamt?“) wurde der Lenk-Assistent gegenüber dem Info- und Warn-Assistenten bevorzugt ($F(2,28) = 12.4$, $p < .05$) und mit gut bewertet, Info- und Warn-Assistent mit mittelmäßig. Gleiches galt für die *Erlernbarkeit* („Wie schnell sind Sie mit diesem Assistenten klargekommen?“) und die *Benutzbarkeit* („Wie schwierig finden Sie es, den Assistenten zu benutzen?“). Hinsichtlich der *Verständlichkeit* wurde zwar auch der Lenk-Assistent bevorzugt („Wie klar und verständlich ist das, was der Assistent tut?“), aber hier wurde auch der Warn-Assistent mit gut beurteilt ($F(2,28) = 4.7$, $p < .05$). Abbildung 7.18 zeigt die aus Sicht des Warn-Assistenten gute Bewertung der Verständlichkeit und mittelmäßige Beurteilung der Benutzbarkeit.

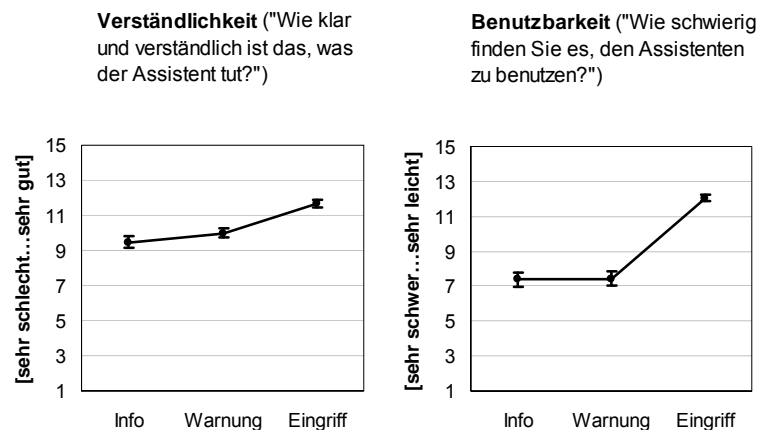


Abb. 7.18: Akzeptanzbewertungen zur Benutzerfreundlichkeit. Dargestellt sind die Bewertung der Verständlichkeit und der Benutzbarkeit.

Nützlichkeit

Tabelle 7.9 zeigt die Fehlerwahrscheinlichkeiten zu den Items zur Nützlichkeit.

Tab. 7.9: Fragen zur Bewertung der Nützlichkeit der Assistenzsysteme. Dargestellt sind die Fehlerwahrscheinlichkeiten. Signifikante Ergebnisse mit $p < .05$ sind dunkelgrau hinterlegt und tendenziell signifikante Ergebnisse mit $p < .10$ sind hellgrau hinterlegt.

Item	Haupteffekt Assistenz	Interaktion Assistenz u. Aufgabenanforderungen	Haupteffekt Aufgabenanforderungen
Wie nützlich ist der Assistent insgesamt, um gut zu fahren?	.000	.410	.471
Ist die Spurhaltung durch den Assistenten einfacher oder schwieriger geworden?	.000	.433	.054
Wie sehr hat Sie das Assistenzsystem beim Fahren abgelenkt?	.000	.320	.672
Wie viel Spaß macht es, mit dem Assistenten zu fahren?	.000	.037	.136
Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert?	.000	.432	.544
Wie sehr hindert Sie der Assistent daran, so zu fahren, wie Sie sonst fahren?	.005	.629	.424
Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten?	.031	.303	.574
Wie hat sich die Fahrleistung durch die Information über die künftige Position (Info- und Warn-Assistent) bzw. über den optimalen Lenkradwinkel (Bahnführungskomponente bei Lenk-Assistent verbessert?	.002	.707	.756
Wie sehr hat sich die Fahrleistung durch die Information über die künftige Position bzw. die Warnung wann und wohin zu lenken ist bzw. durch das Zurücklenken verbessert?	.083	.374	.924

Die *Gesamtbewertung* der Nützlichkeit zeigte einen Haupteffekt der Assistenzfunktion und fiel für den Lenk-Assistenten besser aus als für den Info- und den Warn-Assistenten ($F(2,28) = 22.6$, $p < .001$). Dasselbe Bild zeigte sich mit Ausnahme der Leistungsverbesserung in allen Bewertungen zur Nützlichkeit. Darunter wurden Info- und Warn-Assistent in einigen Aspekten mit „schlecht“ beurteilt, nämlich hinsichtlich der *Entlastung* („Ist die Spurhaltung durch den Assistenten einfacher oder schwieriger geworden?“, $F(1.3,19.2) = 21.7$, $p < .001$), der *Ablenkung* („Wie sehr hat Sie das Assistenzsystem beim Fahren abgelenkt?“, $F(1.3,19.4) = 24.5$, $p < .001$) und des *Spaßes* („Wie viel Spaß macht es, mit dem Assistenten zu fahren?“, $F(1.2,17.9) = 15.5$, $p < .001$). Beide Assistenzsysteme wurden jedoch mit „mittel“ bewertet hinsichtlich der *Kontrolle* („Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert?“, $F(2,28) = 17.9$, $p < .001$), des *Behinderns* („Wie sehr hindert Sie der Assistent daran, so zu fahren, wie Sie sonst fahren?“, $F(1.1,16.4) = 9.9$, $p < .05$) und dem entgegengebrachten *Vertrauen* („Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten?“, $F(1.3,18.5) = 4.9$, $p < .05$). Wurden bei der Frage zur *Leistungsverbesserung* („Wie hat sich die Fahrleistung durch die Information über die künftige Position bzw. über den optimalen Lenkradwinkel verbessert?“) die *informierenden Komponenten* der Systeme miteinander verglichen, so wurde die Bahnführungskomponente des Lenk-Assistenten besser bewertet als die Information über die künftige Position von Info- und Warn-Assistent $F(2,28) = 11.2$, $p < .05$). Wurde die durch die Hauptassistenzfunktion entstandene Leistungsverbesserung verglichen – nämlich die informierende Funktion des Info-Assistenten mit der warnenden Funktion des Warn-Assistenten und der eingreifenden Funktion des Lenk-Assistenten –, so gab es einen tendenziell signifikanten Haupteffekt ($F(1.3,18.2) = 2.7$, $p = .083$) und alle Assistenten wurden mit „mittel“ bewertet.

Als einziger Nützlichkeitsaspekt zeigte die Bewertung der *Entlastung* einen tendenziellen Haupteffekt der Aufgabenanforderungen ($F(1,14) = 4.4$, $p = .054$), indem die Entlastung bei der schwierigen Aufgabe höher war. Abbildung 7.19 zeigt die mittelmäßige Bewertung aller Systeme hinsichtlich ihrer Leistungsverbesserung und die kritischen Bewertungen von Info- und Warn-Assistent in Bezug auf Entlastung und Ablenkung.

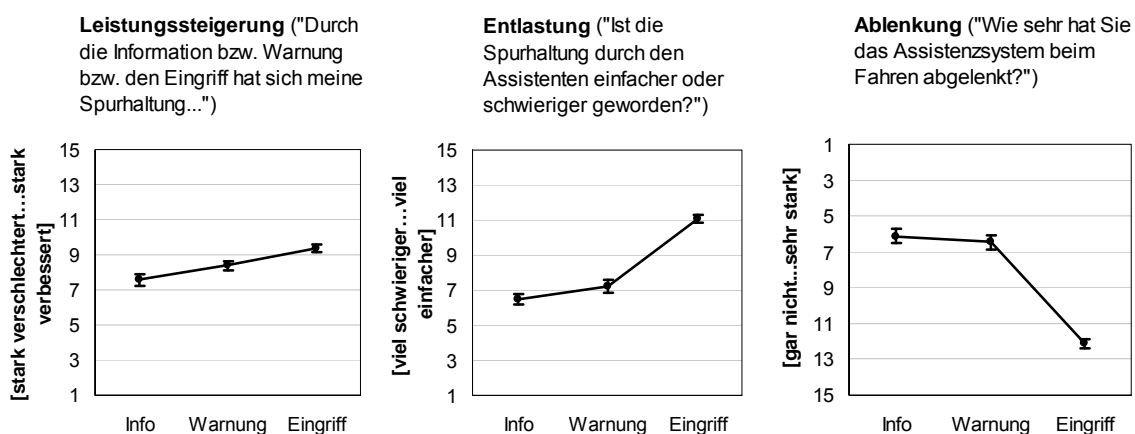


Abb. 7.19: Akzeptanzbewertungen zur Nützlichkeit. Dargestellt sind die Bewertung der Leistungsverbesserung, der Entlastung und der Ablenkung.

In der Vergleichsbewertung nach Nutzung aller Assistenten gaben die Versuchspersonen dem Lenk-Assistenten in allen Kategorien (Funktionalität, Gestaltung, Benutzerfreundlichkeit, Nützlichkeit und Gesamturteil) jeweils den besten Platz. Der Warn-Assistent wurde nur wenig besser platziert als der Info-Assistent. Nach der schwierigen Fahrt hätten 14 Personen den

Lenk-Assistenten kaufen wollen und dafür im Durchschnitt 400 Euro bezahlt, ein Proband den Info-Assistenten (für Euro 41) und kein Proband den Warn-Assistenten (für Euro 70).

Zusammengefasst akzeptierten die Versuchspersonen den Lenk-Assistent in den meisten Aspekten am stärksten und beurteilten ihn im guten Bereich. Info- und der Warn-Assistent wurden in allen Aspekten schlechter als der Lenk-Assistent beurteilt, lagen aber meistens im mittleren Bereich. Positiver gesehen wurde beim Warn-Assistenten die grundsätzliche Idee zu warnen (Unterstützungsart), der Warnbeginn (Aktivitätsbeginn) und seine leichte Verständlichkeit. Kritisch sahen die Versuchspersonen beim Warn-Assistenten die inhaltliche Mitteilung über die künftige Spurposition, sein kontinuierliches Informieren, die grafische Oberfläche, die schwierige Benutzung und vor allem die geringe Entlastung und hohe Ablenkung. Beim Lenk-Assistenten fiel auf, dass die eingreifende Komponente als weniger hilfreich beurteilt wurde als seine informierende und warnende Komponente. Interessant war, dass die Fahrer meinten, die meiste Kontrolle über das Fahren bei Nutzung des Lenk-Assistenten zu behalten, obwohl dieser am meisten in ihre Fahrhandlung eingriff.

7.3 Diskussion

In der abschließenden Diskussion wird zunächst die Fragestellung der Studie wiederholt beschrieben und werden dann die wesentlichen Ergebnisse der einzelnen subjektiven und objektiven Datenquellen zusammengefasst. Zum Schluss wird die Wirksamkeit der Assistenzsysteme in Bezug auf die vorliegenden Aufgabenanforderungen diskutiert.

Die Versuchspersonen hatten in dieser Studie die Aufgabe, bei guter Sicht oder bei Nebel zügig einer kurvigen Straße zu folgen und dabei gut die Spur zu halten. Die eingeschränkte Sichtbarkeit des Streckenverlaufs und relevanter Punkte entlang der Trajektorie sollte den Fahrern die Wahrnehmung der fahrrelevanten Informationen erschweren. Unterstützung erhielten die Fahrer durch einen Info-, Warn- bzw. Lenk-Assistenten oder sie fuhren unassistent. Der Info-Assistent erleichterte die Informationsaufnahme der Fahrer, so dass dessen Assistenzfunktion am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt war. Als Ziel der Studie sollte ermittelt werden, welche Assistenzfunktion die wirksamste Unterstützung bei Anforderungen im Bereich der Informationsaufnahme darstellte. Anhand der Wirkung des Info-Assistenten sollte es außerdem zur Klärung der Gesamtfrage beitragen, ob eine Abstimmung von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen sinnvoll ist.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden die Aufgabenanforderungen bei Nebel in Bezug auf die mentalen und zeitlichen Anforderungen als höher empfanden als bei guter Sicht. Sie mussten dann die Fahraufgabe aufmerksamer ausführen und schneller reagieren, um die Spur zu halten. Die beeinträchtigte Sicht wirkte sich wie intendiert erschwerend auf die Informationsaufnahme aus und wahrscheinlich als Folge davon auch auf die Handlungsplanung, während die Handlungsausführung unbeeinflusst blieb. Die mentalen und zeitlichen Anforderungen der Fahraufgabe konnte der Lenk-Assistent am besten von allen Assistenten und auch gegenüber der unassistenten Fahrt reduzieren. Allerdings erleichterte er auch in sämtlichen anderen abgefragten Aspekten die Aufgabe, auch wenn diese zuvor gar nicht als schwierig identifiziert worden waren. Außerdem wirkte der Lenk-Assistent in allen Anforderungsaspekten bei leichter und schwieriger Aufgabe gleichermaßen entlastend, so dass er anscheinend eher eine generelle Entlastung darstellte und nicht eine, die spezifisch die Anforderungen bei Nebel reduzierte. Die Wahrnehmung der Anforderungsunterschiede je nach

Aufgabe oder je nach Assistenzsystem wurde durch die physiologischen Beanspruchungswerte nicht bestätigt, da es keine signifikanten Unterschiede in der Herzrate zwischen beiden Anforderungsarten bzw. zwischen den Assistenzbedingungen gab. Allerdings wies die Herzrate eine hohe Varianz auf, was möglicherweise das Auftreten signifikanter Unterschiede verhinderte.

Beim Fahrverhalten wurden das Auftreten von Spurüberschreitungen und das Fahrverhalten innerhalb der Fahrspur betrachtet. Bei der Reduzierung von Spurüberschreitungen waren alle Assistenten gegenüber der unassistenten Fahrt hilfreich. Spurüberschreitungen traten bei der unassistenten Fahrt am häufigsten auf und dauerten am längsten. Die Nutzung des Warn-Assistenten reduzierte die Anzahl und die Dauer der Spurüberschreitungen am stärksten im Vergleich zu den anderen Assistenten. Ursächlich für diese positive Wirkung in Bezug auf die Spurverlassensereignisse schien die Wirkung des Assistenten auf das Fahrverhalten innerhalb der Fahrspur. Mit dem Warn-Assistenten positionierten sich die Fahrer zum einen generell stärker in der Spurmitte. Sie fuhren außerdem nicht so nah an den Fahrspurrand, weil sie frühzeitig die Fahrtrichtung durch kleine Lenkbewegungen korrigieren konnten wenn sie in Richtung Fahrspurrand fuhren.

Dieselbe frühzeitige Korrektur des Lenkverhaltens wie beim Warn-Assistenten wurde auch durch den Info-Assistenten ermöglicht, allerdings kam es dort zu häufigeren Spurübertretungen als beim Warner, weil stärker in der Spur geschwankt wurde und sich die Fahrer näher am rechten Fahrspurrand positionierten.

Das Fahrverhalten innerhalb der Spur wurde durch den Lenk-Assistenten hingegen kaum beeinflusst. Dort fuhren die Fahrer näher und länger an den Fahrspurrand, bis sie reagierten. Auffällig war beim Lenk-Assistent die hohe Geschwindigkeitswahl, die auf eine Kompensation der wahrgenommenen vermeintlich höheren Sicherheit im Sinne einer Risikohomöostase deutet.

Die Akzeptanz des Lenk-Assistenten war in den abgefragten Kategorien Funktionalität, Gestaltung, Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit am höchsten. Allerdings wurden vor allem seine informierende und warnende Komponente als hilfreicher bewertet und weniger der Eingriff. Beim Info- und Warn-Assistenten wurden die fehlende Entlastung beim Fahren, die hohe Ablenkungswirkung, der geringe Fahrspaß und die schwierige Benutzung bemängelt. Es störten die kontinuierliche Informationsgabe und die grafische Oberfläche. Im Gegensatz zur Information wurde allerdings grundsätzlich die Idee, eine Warnung zu erhalten gut gefunden und ebenso der Warnzeitpunkt.

Die Nutzungsrate war beim Info-Assistenten laut Aussage der Probanden am niedrigsten, während alle Probanden angaben, den Lenk-Assistenten genutzt zu haben. Der Info-Assistent wurde kaum in die Erfüllung der Fahraufgabe eingebunden. Der Warn-Assistent wurde zur Erkennung des Straßenverlaufs und als Lenkkorrekturhinweis genutzt, stellte aber aufgrund der Gestaltung hinsichtlich der informierenden Komponente eine Zweitaufgabe für die Fahrer dar. Beim Lenk-Assistenten nutzten 11 Probanden die eigentlich nur defensiv parametrisierte Bahnführungskomponente, während 4 Probanden angaben, diese nicht gespürt zu haben.

Fasst man die Ergebnisse für die einzelnen Assistenzsysteme zusammen, so zeigt sich die jeweilige Wirksamkeit der 3 Assistenzfunktionen für die Bewältigung der dargebotenen Aufgabenanforderungen.

Der Info-Assistent konnte die Anzahl von Spurüberschreitungen gegenüber der unassistierten Fahrt reduzieren, da die Fahrer frühzeitig innerhalb der Spur ihre Lenkrichtung korrigierten und ihre Spurführung anhand vieler kleiner Lenkkorrekturen optimierten. Der Fahrzeitannteil mit geringen Abständen zum Fahrspurrand war daher ähnlich gering wie mit dem Warn-Assistenten. Allerdings wurde der Info-Assistent von den Probanden kaum als Entlastung für die Aufgabenanforderungen wahrgenommen und die übermittelte Informationsmenge als zu hoch. Die Fahrer empfanden die Gestaltung des Assistenten als ablenkend, so dass nur einige ihn nutzten und wenn, dann vorwiegend zur Kontrolle der eigenen Wahrnehmung und nicht als originäre Informationsquelle. Diese Ablenkung führte zu einem instabileren Spurführungsverhalten, wodurch es zu häufigeren und längeren Spurüberschreitungen kam als mit dem Warn-Assistenten.

Der Lenk-Assistent konnte die Anzahl und Dauer von Spurüberschreitungen ähnlich gut reduzieren wie der Warn-Assistenten. Im Unterschied zu diesem beeinflusste er das Fahrverhalten der Fahrer innerhalb der Fahrspur aber kaum im Vergleich zur unassistierten Fahrt. Er motivierte die Fahrer nicht, die Querführung innerhalb der Fahrspur frühzeitig zu kontrollieren und die Fahrer gelangten bei Nebel dicht an den Fahrspurrand bevor sie die Lenkrichtung korrigierten. Ein antizipatives Fahrverhalten unterstützte der Lenk-Assistent somit nicht. Andererseits konnte der Eingriff die zeitlichen und mentalen Anforderungen der Spurhalteaufgabe am besten reduzieren, er wurde von allen Probanden genutzt und am meisten akzeptiert. Insbesondere wurde er als wenig ablenkend und als entlastend wahrgenommen und reduzierte aus Sicht der Probanden am wenigsten die Kontrolle über das Fahren. Allerdings deuten die Angaben der Probanden zur Nutzung des Lenk-Assistenten darauf hin, dass die Bahnführungskomponente des Assistenten, ohne die eine Realisierung des Assistenten technisch nicht möglich war, eine größere Rolle spielte als geplant. So wurde die Bahnführungskomponente als hilfreicher empfunden als die Eingriffskomponente und von mehr Fahrern genutzt. Der Lenk-Assistent unterstützte daher wahrscheinlich schon innerhalb der Fahrspur den Fahrer und nicht erst im Notfall beim Abkommen von der Fahrspur. Dieses würde erklären, warum der Lenk-Assistent so unspezifisch in Bezug auf sämtliche Aufgabenanforderungen entlastete. Es würde ebenfalls die hohe Geschwindigkeitswahl mit dem Lenk-Assistenten erklären, die wahrscheinlicher ist wenn man sich in jedem Moment der Fahrt unterstützt fühlt und nicht erst beim Spurabkommen. Somit hat der Lenk-Assistent möglicherweise nicht nur gewarnt und eingegriffen, sondern durch seine Bahnführungskomponente auch informiert und dadurch verhindert, dass die Fahrer „blind“ in den Nebel hineinfahren mussten. Hingegen hätte bei einem reinen Eingriff die Querführungsaufgabe innerhalb der Spur ausschließlich beim Fahrer gelegen, was möglicherweise zu mehr Spurüberschreitungen und zu einer geringeren Entlastung und Akzeptanz geführt hätte. Diese Annahmen lassen sich allerdings anhand der vorliegenden Untersuchung nicht abschließend klären.

Der Warn-Assistent reduzierte die Anzahl und Dauer von Spurüberschreitungen am stärksten. Im Unterschied zum Eingriff beeinflusste er das Fahrverhalten innerhalb der Fahrspur, denn die Fahrer waren gut in der Fahrspur positioniert und hielten mehr Abstand zum Fahrspurrand. Die Fahrer konnten mit dem Warn-Assistenten frühzeitig ihre Lenkung regulieren wenn sie auf den Fahrbahnrand zusteuerten. Der Warner stellte somit eine Unterstützung dar, die den Fahrern selbst die Erfüllung der Fahraufgabe ermöglichte, indem er ihnen durch

frühzeitige Warnung die dafür nötige Zeit verschaffte. Trotz dieser Unterstützung wurde der Warn-Assistent nicht als entlastend für die Aufgabenanforderungen wahrgenommen. Ein Grund könnte darin liegen, dass die Fahrer die Möglichkeit zur eigenen Querführungskontrolle bei dieser Aufgabe gar nicht wünschten. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass die entlastende Wirkung des Assistenten durch die Art seiner Realisierung beeinträchtigt wurde, denn die grundsätzliche Idee einer Warnung und auch des Warnzeitpunktes wurde von den Probanden begrüßt. Die warnende Funktionalität wurde gut bewertet und es gab keine Anzeichen dafür, dass die Warnungen störend wirkten und deswegen vermieden wurden. Bemängelt wurde eher der informierende Teil des Assistenten. Er lieferte zu viele Informationen und das Kontrollieren der Dreiecke stellte eine Zweitaufgabe dar und lenkte ab. Möglicherweise war daher das Konzept, den Fahrer vor dem Abkommen von der Straße zu warnen durchaus sinnvoll und funktional und die Umsetzung der informierenden Komponente im HMI des Assistenten verbesserungsdürftig. Hilfreicher wäre möglicherweise eine Information ohne dynamische Elemente und ohne die Aufgabe, diese dynamischen Elemente zu kontrollieren. Zusammenfassend scheint die geringe Akzeptanz des Warn-Assistenten also eher in seiner Umsetzung im HMI begründet als in einem grundsätzlichen Ablehnen seiner Funktion. Die Fahrdaten sprechen eher für die Wirksamkeit des Warn-Assistenten.

Insgesamt bot die wirksamste Unterstützung bei dieser Aufgabe der Warn-Assistent, da er die Anzahl und Dauer von Spurüberschreitungen am stärksten reduzieren konnte. Hilfreich dafür schien die frühzeitige Warnung des Fahrers, die eine rechtzeitige Reaktion des Fahrers in Form einer Lenkkorrektur ermöglichte. Diese Antizipationsmöglichkeit nutzten die Fahrer auch und konnten dadurch die schlechte Wahrnehmbarkeit des Straßenverlaufs besser kompensieren als ohne Assistenz oder mit den anderen Assistenten.

8 Gesamtdiskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Erkenntnisse für die Gestaltung von Assistenzsystemen zu gewinnen, die hilfreich für die Verbesserung ihrer Wirksamkeit und Akzeptanz sein können. Psychologische Modelle zum Fahrverhalten identifizieren die Anforderungen einer Fahraufgabe in Relation zum Fahrvermögen des Fahrers als wesentlich für die Schwierigkeit der Aufgabe, das Fahrverhalten und die Fahrleistung. Die Berücksichtigung der Anforderungen der Fahraufgabe bei der Entwicklung und Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen könnte daher eine Möglichkeit darstellen, die Akzeptanz und Wirkung der Systeme zu verbessern. Fahrerassistenzsysteme, deren Funktionen spezifisch mit den gegebenen Anforderungen abgestimmt sind, könnten möglicherweise das Leistungsvermögen des Gesamtsystems, bestehend aus Fahrer und Fahrerassistenzsystem, verbessern und dadurch zu einer wirksameren Unterstützung führen als nicht mit den Anforderungen abgestimmte Systeme. Zur Klärung dieser Fragestellung wurde untersucht, ob ein Assistenzsystem mit den Anforderungen der Fahraufgabe abgestimmt sein sollte, indem es genau diejenige Funktion übernimmt, die die Schwierigkeit der Aufgabe begründet oder ob die Abstimmung von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderung zu keiner Verbesserung von Fahrleistung und Akzeptanz führen.

Dazu wurden für die Fahraufgabe der Längs- und Querführung 4 Studien durchgeführt, in denen die Aufgabenanforderungen entweder im Bereich der Informationsaufnahme, der Handlungsplanung oder der Handlungsausführung lagen. In jeder Studie wurde die untersuchte Aufgabenanforderung in Form einer niedrigen und hohen Anforderungsbedingung variiert. Unterstützung bei der Bewältigung der Fahraufgabe erhielten die Probanden in jeder Studie durch 3 verschiedene Assistenzsysteme, deren Funktionen analog zur Klassifikation der Aufgabenanforderungen den Fahrer bei der Fahraufgabe unterstützen sollten. Der Info-Assistent sollte die Informationsaufnahme unterstützen, indem er dem Fahrer fahrrelevante Reize aus der Umwelt anzeigte. Die Entscheidung über die geeignete Handlung und deren Ausführung blieb weiterhin beim Fahrer. Der Warn-Assistent setzte auf einer höheren Stufe der Informationsverarbeitung an und sollte die Handlungsplanung unterstützen, indem er die Situation in Hinsicht auf ihre Gefährlichkeit interpretierte und den Fahrer bei Handlungsbedarf warnte. Die Handlungsausführung blieb beim Fahrer. Der Eingriff stellte die höchste Automatisierungsstufe dar und sollte die Handlungsausführung unterstützen, indem er bei akuter Gefahr die Handlung des Fahrers ergänzte oder ersetzte. Die verschiedenen Automatisierungsstufen waren bewusst zeitlich gestaffelt ausgelegt, damit jede Assistenzfunktion nur den ihr zugeordneten Teil der Fahraufgabe unterstützte und die restlichen Teilaufgaben beim Fahrer verblieben. So wurde beispielsweise der Eingriff am spätesten und erst bei akuter Gefahr aktiv, um nicht auch bereits die Prozesse der Informationsaufnahme und der Handlungsplanung zu unterstützen bzw. zu ersetzen. In jeder Studie war jeweils eines der Assistenzsysteme mit den dargebotenen Aufgabenanforderungen abgestimmt, während die Funktionen der anderen beiden Assistenzsysteme nicht spezifisch auf die Anforderungen eingingen. Die Wirkung der Assistenten wurde anhand der Fahrleistung, der Akzeptanz und der Beanspruchung erhoben.

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Anknüpfung an die Diskussionen der einzelnen Studien wird zunächst dargestellt, welche Aufgabenanforderungen in jeder Studie variiert wurden und welche der 3 dargebotenen Assistenzfunktionen die jeweils wirksamste Unterstützung bei der Bewältigung dieser Anforderungen darstellte.

Im Längsführungsexperiment mit erschwerter Handlungsplanung (Studie 1) wurde anhand eines erwartet oder überraschend bremsenden Führungsfahrzeugs variiert, inwiefern der Proband das Bremsereignis antizipieren konnte und dadurch das eigene Verzögerungsverhalten planen konnte. War das Bremsmanöver antizipierbar, so konnte der Fahrer frühzeitig sein Verhalten planen und dieses bereits im Vorfeld anpassen sowie bei Bremsbeginn zügig reagieren. Geschah das Bremsmanöver unerwartet, so war keine Antizipation möglich und der Fahrer konnte sein Handeln erst mit Start des Bremsereignisses planen. Die Anforderungen der Aufgabe unterschieden sich daher vor allem im Zeitpunkt der Handlungsauswahl und Handlungsplanung. Der Warn-Assistent sollte mit seiner Handlungsaufforderung zum Bremsen die Planung des eigenen Fahrverhaltens erleichtern und war daher am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt. Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass der Eingriff die wirksamste Unterstützung darstellte, da er die Anzahl von Situationen mit kritischen TTC gegenüber der unassistenten Fahrt und den anderen Assistenzbedingungen reduzierte und deren Dauer verkürzte. Zudem wurde er am stärksten als entlastend bewertet. Seine Wirksamkeit lag darin, das Fahrzeug frühzeitig und zügig abbremsen zu können und dadurch das eigene Verzögerungsverhalten adäquat an die Situationsentwicklung anpassen zu können. Mit Info- und Warn-Assistent wurden ähnlich früh und dauerhaft kritische TTC-Werte erreicht wie bei unassistierter Fahrt, da die Assistenten keinen früheren Bremsbeginn bzw. zügigen Bremsverlauf unterstützten.

Im Längsführungsexperiment bei erschwerter Informationsaufnahme (Studie 2) wurde anhand von Nebel bzw. guten Sichtbedingungen der Kontrast der Reize in der Umwelt variiert. Dadurch konnten die Fahrer bei Nebel Fahrzeuge, denen sie sich annähernten, spät wahrnehmen und die Aufgabenanforderungen lagen vor allem im Bereich der Informationsaufnahme. Der Info-Assistent war aufgrund seiner Unterstützung der Informationsaufnahme am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt und stellte auch die wirksamste Unterstützung der Fahrer dar, da sie beim Annäherungsprozess einen größeren Abstand zum Führungsfahrzeug und einen unkritischeren TTC-Wert beibehalten konnten. Außerdem wurden kritische Werte beider Parameter für kürzere Zeiträume unterschritten als in den anderen Bedingungen. Der Info-Assistent entlastete die Fahrer bei der schwierigen Aufgabe außerdem am stärksten. Seine Wirksamkeit lag darin, den Fahrer frühzeitig über das Führungsfahrzeug zu informieren und dadurch eine Antizipation der Situation zu ermöglichen. Der Warn-Assistent ermöglichte zwar ein ähnlich gutes Abstandverhalten wie der Info-Assistent, jedoch konnten die Fahrer mit ihm ihre Geschwindigkeit schlechter an die Situationsentwicklung anpassen. Der Eingriff konnte das Fahrverhalten gegenüber der unassistenten Fahrt nicht verbessern und begünstigte sogar ein riskantes Verhalten, da die Fahrer später auf das Führungsfahrzeug reagierten.

Im Querführungsexperiment bei erschwerter Handlungsausführung (Studie 3) wurden die Kurvigkeit der Strecke und die durch einen Tempomaten vorgegebene Geschwindigkeit variiert und dadurch die Stärke und Schnelligkeit, mit der die Fahrer die für die Querführung

notwendigen Lenkbewegungen ausführen mussten. Die Anforderungen der schwierigen Aufgabe lagen in der Regulierung des adäquaten Lenkwinkels und daher im Bereich der Handlungsausführung. Der Lenk-Assistent unterstützte die Handlungsausführung, indem er bei zunehmender Querablage eine Gegenkraft auf das Lenkrad brachte und war daher am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt und stellte gleichzeitig die wirksamste Unterstützung dar. Er konnte die Dauer von Spurüberschreitungen gegenüber der unassistierten Fahrt leicht reduzieren und entlastete die Fahrer. Die Wirksamkeit des Lenk-Assistenten bei dieser Aufgabe bestand darin, dass das Fahrzeug zügiger und mit einer adäquateren Kraft wieder in die Fahrspur gelenkt wurde als dies die Fahrer konnten. Info- und Warn-Assistent zeigten keine wirksame Unterstützung gegenüber der unassistierten Fahrt.

Im Querführungsexperiment bei erschwerter Wahrnehmung (Studie 4) war die Sichtweite beim Befahren kurviger Strecken durch Nebel variiert. Dadurch waren die Wahrnehmung des Streckenverlaufs und insbesondere der Punkte entlang der künftigen Trajektorie eingeschränkt und die Einschätzung der Kurvenkrümmung erschwert. Die Aufgabenanforderungen lagen daher im Bereich der Informationsaufnahme. Der Info-Assistent informierte den Fahrer über seine künftige Position in der Fahrspur und war am besten mit den Aufgabenanforderungen abgestimmt. Er konnte jedoch nicht so wirksam unterstützen wie der Warn-Assistent, der sowohl die Anzahl als auch die Dauer von Spurüberschreitungen am stärksten reduzieren konnte. Seine Wirksamkeit bestand darin, die Fahrer frühzeitig vor einem Verlassen der Fahrspur zu warnen und ihnen dadurch die notwendige Zeit zu verschaffen, ihre Spurführung rechtzeitig an die Streckenführung anpassen zu können. Der Info-Assistent ermöglichte zwar ähnlich antizipative Lenkkorrekturen innerhalb der Spur wie der Warn-Assistent, konnte aber aufgrund seiner ablenkenden Wirkung die Anzahl und Dauer von Spurüberschreitungen nicht so deutlich reduzieren wie der Warn-Assistent. Der Eingriff wurde von den Probanden weniger als Notfallsystem beim Spurverlassen, sondern eher als Unterstützung der Bahnführung innerhalb der Spur genutzt und ging damit über eine reine Eingriffsfunktion hinaus.

Anhand der Zusammenfassung der Ergebnisse wird deutlich, dass die vorliegende Arbeit einigen methodischen Beschränkungen unterliegt. Zum einen konnte nur eine Auswahl möglicher Fahraufgaben und Situationen berücksichtigt werden. Folgt man der in der Einleitung beschriebenen Fahraufgabenklassifikation in drei verschiedene Ebenen nach Donges (1978), so beschränken sich die hier untersuchten Aufgaben auf die Bahnführungs- und Stabilisierungsebene und lassen die Navigationsebene unberücksichtigt. Allerdings stellen die auf diesen beiden Ebenen angesiedelte Quer- und Längsführung zwei wesentliche Bereiche der Fahrzeugführung dar und sind Inhalt vieler aktuell in Entwicklung und Verbreitung befindlicher Fahrerassistenzsysteme (z.B. Lane Departure Warning, Adaptive Cruise Control), so dass die Betrachtung dieses Aufgabenbereichs am interessantesten erschien. Ebenso musste eine Auswahl hinsichtlich der zu untersuchenden Fahrsituationen getroffen werden. So wurde beispielsweise als Ursache für mangelnde Sicht das Fahren bei Nebel untersucht. Hier kann man möglicherweise von einer Übertragbarkeit der gefundenen Ergebnisse auf vergleichbare Situationen ausgehen, müsste dies aber gesondert untersuchen.

Eine weitere methodische Beschränkung der Arbeit kann in der Wahl des Fahrsimulators als Versuchsumgebung gesehen werden. Fahrsimulatoren sind hinsichtlich ihrer Realitätsnähe von Realfahrten abzugrenzen, wobei Simulatoren in sehr unterschiedlichen Ausbaustufen verwendet werden und vom Computermonitor mit einer Maus bis hin zu dynamischen Fahr-

simulatoren reichen können. Neben der Gefahr von Simulatorübelkeit, stellt die geringe Validität einen wesentlichen Nachteil von Simulatoren gegenüber Realfahrten dar. Dabei werden die physikalische Validität des Simulators, die sich beispielsweise aus der Realitätsnähe der Verkehrsdarstellung und der Dynamik ergibt, und die verhaltensbezogene Validität unterschieden, die die Übereinstimmung des Fahrverhaltens zwischen Realfahrten und Simulatorfahrten beschreibt. Die Validität einer Untersuchung hängt daher wesentlich vom spezifisch verwendeten Simulator ab (Godley, Triggs & Fildes, 2002). Aus diesem Grund wurde in den Simulatoren des DLR auf eine hochwertige Projektion, ein realistisches Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer sowie ein ausgiebiges Probandentraining Wert gelegt. Außerdem wurde das Bewegungsverhalten des dynamischen Fahrsimulators in mehreren sogenannten motion tuning-Studien hinsichtlich des subjektiven Fahreindrucks und hinsichtlich der Vergleichbarkeit des Fahrverhaltens mit Realfahrten bewertet und überarbeitet (z.B. Brünger-Koch, Briest & Vollrath, 2006). Unter diesen Umständen erscheint die Verwendung der Fahrsimulatoren in der vorliegenden Arbeit vernünftig, zumal sie mit einigen Vorteilen gegenüber Realfahrten verbunden ist. So ist beispielsweise eine bessere Kontrolle von Störvariablen möglich und es können für jede Fahrt identische Versuchsbedingungen hergestellt werden. Außerdem lassen sich im Fahrsimulator neue Assistenzsysteme bereits in frühen Konzeptphasen implementieren und Probanden werden nicht den Gefahren des realen Straßenverkehrs ausgesetzt.

8.2 War die mit den Anforderungen abgestimmte Assistenzfunktion immer die wirksamste Assistenzfunktion?

Wie im vorigen Abschnitt zusammengefasst, wurde in jeder der 4 Studien untersucht, welches der 3 Assistenzsysteme den Fahrer im Vergleich zu den beiden anderen Assistenzsystemen bei bestimmten Anforderungen am wirksamsten unterstützen konnte. Die Fragestellung der Gesamtuntersuchung lautet, dass diejenige Assistenzfunktion die wirksamste Unterstützung darstellt, die am besten mit den Anforderungen der Aufgabe abgestimmt ist. Zur Klärung dieser Fragestellung wird im Folgenden daher für jede der untersuchten Aufgabenanforderungen diskutiert, ob die mit den Anforderungen abgestimmte Assistenzfunktion oder eine andere Assistenzfunktion die wirksamste Unterstützung darstellte und wie sich die Wirksamkeit der Assistenzfunktionen erklären lässt.

Welche Assistenzfunktion unterstützte bei erschwerter Informationsaufnahme am wirksamsten?

In der Längsführungsstudie bei Nebel waren aufgrund unterschiedlich guter Sichtverhältnisse die Anforderungen in der Informationsaufnahme variiert worden, während die Anforderungen in der Handlungsplanung und Handlungsausführung konstant blieben. In der leichten Aufgabe näherte sich der Fahrer einem Führungsfahrzeug an und konnte es aufgrund der guten Sichtverhältnisse frühzeitig wahrnehmen. In der schwierigen Aufgabe konnten die Fahrer aufgrund des Nebels ihr Annähern an das vorausfahrende Fahrzeug und dessen Umriss erst spät wahrnehmen. Das Fehlen dieser Information erhöhte für die Fahrer vor allem die zeitlichen Anforderungen, da die Probanden weniger Zeit zum Reagieren hatten. Die schwierige Aufgabe unterschied sich somit von der leichten darin, ob dem Fahrer eine für sein Längsführungsverhalten bedeutsame Information früh zur Verfügung stand oder nicht.

Bei Gültigkeit der Hypothese, dass eine mit den Aufgabenanforderungen abgestimmte Assistenzfunktion die beste Unterstützung bietet, wäre zu erwarten, dass die Informationsfunktion die wirksamste Unterstützung des Fahrers darstellte. Tatsächlich erwies sich der Info-

Assistent auch als wirksamste Assistenzfunktion. Die Funktion des Info-Assistenten bestand darin, den Fahrer frühzeitig über ein Führungsfahrzeug und den Abstand zu diesem zu informieren, bevor es bei Nebel für den Fahrer sichtbar war. Diese Information griffen die Fahrer auf und verwendeten den Assistenten als eine Ersatzinformationsquelle, um sich auf das Annäherungsmanöver vorzubereiten. Dadurch konnten sie zum einen frühzeitig das Gaspedal lösen und ähnlich früh wie bei guter Sicht beginnen, das Fahrzeug zu verzögern. Zum anderen konnten sie aufgrund der frühzeitigen Information das Fahrzeug synchron zur Entwicklung der Situation verzögern, so dass dem Entstehen gefährlicher Situationen vorgebeugt wurde. Aufgrund der frühzeitigen Reaktion war außerdem eine schwächere und langsamere Bremsausführung erforderlich als in den anderen Bedingungen. Anscheinend ging die unterstützende Wirkung des Info-Assistenten über die Informationsübermittlung hinaus, da die Probanden ihn auch als Vorwarnung nutzten, um schneller reagieren zu können, und als unterstützend für die Bremshandlung wahrnahmen, da mehr Zeit zum Reagieren zur Verfügung stand. Somit scheint beim Fehlen aufgabenrelevanter Informationen die geeignete Assistenzfunktion in einer Informationsfunktion zu bestehen, die dem Fahrer genau die Information liefert, die ihm fehlt. Das Anreichern der reduzierten Umweltinformationen um die fehlende Information zu einem Zeitpunkt, wann der Fahrer sie benötigt und bei guter Sicht auch zur Verfügung hätte, erlaubt dem Fahrer, die Situationsentwicklung zu antizipieren und sein Verhalten zeitlich adäquat an die Situationsentwicklung anzupassen. Anhand der übermittelten Information ist der Fahrer dann selbst in der Lage zu entscheiden, wann er sein Fahrzeug verzögern muss und kann die eigene Geschwindigkeit eigenständig entsprechend der Situationsentwicklung reduzieren. Die Unterstützung der Informationsaufnahme durch den Info-Assistenten scheint somit auch zu einer Erleichterung der Handlungsplanung und Handlungsausführung beizutragen und darüber zu einem sicheren Fahrverhalten zu führen. Wenig wirksam beim Fehlen relevanter Informationen scheint hingegen eine Unterstützung der Handlungsplanung. Eine Warnfunktion wird erst bei Kollisionsgefahr aktiv und kann dann zwar das Erreichen niedriger Abstände verhindern, ermöglicht aber aufgrund der dann nur noch kurzen Reaktionszeit keine gelungene Geschwindigkeitsanpassung des Fahrers an die Situation. Ebenso wenig wirksam bei fehlenden Informationen scheint eine Unterstützung der Handlungsausführung. Ein Eingriff kann bei kurzen Sichtdistanzen erst so spät aktiv werden, dass er das Fahrverhalten gegenüber der unassistierten Fahrt nicht verbessern kann, und kann außerdem zu riskantem Fahrverhalten ermutigen.

Vergleicht man das Ergebnis der Studie mit den im theoretischen Teil genannten Literaturbefunden zur Unterstützung der Längsführung bei mangelnder Sicht, so wurde dort ebenfalls eine positive Wirkung des Info-Assistenten nachgewiesen (Hollnagel, 2003). Auch dort wirkte der Info-Assistent, indem er die Reaktionsfähigkeit des Fahrers erhöhte und eine frühzeitige Verhaltensanpassung ermöglichte. Es zeigte sich außerdem, dass sich die durch einen Info-Assistenten übermittelte Information nicht nur auf das eigene Verhalten beschränken sollte (beispielsweise durch Anzeige des eigenen Bremswegs), sondern die Information einen Bezug zum Führungsfahrzeug herstellen sollte (Janssen & Thomas, 1997). Dies ist in vorliegender Studie in Form des Sekundenabstandes realisiert worden. Allerdings fanden sich in der Literatur ebenfalls Belege für die Wirksamkeit der anderen Assistenzfunktionen. Da die Assistenzfunktionen jedoch vorwiegend jeweils nur mit einer Kontrollgruppe verglichen wurden, erlauben die Literaturbefunde im Unterschied zu vorliegender Studie keine Aussage über die wirksamste Assistenzfunktion bei mangelnder Sicht.

In der Querführungsstudie bei Nebel waren ebenfalls aufgrund unterschiedlicher Sichtverhältnisse die Anforderungen in der Informationsaufnahme variiert worden, während die Anforderungen in der Handlungsplanung und Handlungsausführung konstant blieben. In beiden Aufgabenbedingungen mussten die Fahrer enge und schnell aufeinander folgende Kurven befahren. In der leichten Aufgabe herrschten gute Sichtverhältnisse, so dass die Fahrer frühzeitig vor dem Erreichen einer Kurve deren Krümmung wahrnehmen und daraufhin die Trajektorie planen sowie die Lenkhandlung ausführen konnten. In der schwierigen Aufgabe war aufgrund von Nebel die Wahrnehmung der Fahrspur und relevanter Punkte entlang der Trajektorie erschwert. Dadurch war den Fahrern keine frühzeitige Wahrnehmung der Kurvenkrümmung und als Folge davon keine vorausschauende Planung ihrer Trajektorie möglich. Das Fehlen der Information erhöhte vor allem die zeitlichen Anforderungen für die Fahrer, da sie dann die Trajektorie kurzfristig planen mussten. Wie in der Längsführungsstudie bei Nebel unterschieden sich beide Aufgaben darin, ob dem Fahrer eine für sein Fahrverhalten bedeutsame Information frühzeitig zur Verfügung stand oder nicht.

Bei Gültigkeit der Hypothese, dass eine mit den Aufgabenanforderungen abgestimmte Assistenzfunktion die beste Unterstützung bietet, wäre zu erwarten, dass die Informationsfunktion die wirksamste Assistenzfunktion darstellte. Jedoch war die Unterstützung durch den Info-Assistenten weniger wirksam als die durch den Warn-Assistenten. Die Funktion des Info-Assistenten bestand darin, die Fahrer über ihre künftige Position innerhalb der Fahrspur zu informieren und dadurch eine Entscheidungsgrundlage beispielsweise für Lenkkorrekturen zu geben. Im Vergleich zur unassistenten Fahrt konnte der Info-Assistent tatsächlich die Anzahl von Spurüberschreitungen reduzieren, da die Fahrer antizipativ ihre Lenkrichtung korrigieren und ihre Spurführung anhand vieler kleiner Lenkkorrekturen optimieren konnten. Im Vergleich zum Warn-Assistenten war allerdings die Wirksamkeit des Info-Assistenten geringer, da der Info-Assistent zu einer instabileren Spurführung und dadurch häufigeren Spurüberschreitungen im Vergleich zum Warn-Assistenten führte. Die Ursache für diese Defizite lag anscheinend in der hohen Informationsmenge, die der Assistent aufgrund der sich ständig aktualisierenden Darstellung der künftigen Position übermittelte. Diese Informationsmenge störte die Fahrer und lenkte sie ab. Entsprechend wurde der Assistent kaum als Entlastung für die Aufgabenanforderungen wahrgenommen und von den Probanden entweder gar nicht zur Aufgabenbewältigung genutzt oder nur zur Kontrolle der eigenen Wahrnehmung anstatt als originäre Informationsquelle.

Die Funktion des Warn-Assistenten bestand darin, ebenso wie der Info-Assistent den Fahrer über seine künftige Fahrzeugposition zu informieren und darüber hinaus den Fahrer bei drohendem Spurverlassen zu warnen. Die Fahrer nutzten den Warn-Assistenten ähnlich wie den Info-Assistenten zur frühzeitigen Korrektur ihrer Lenkrichtung bereits innerhalb der Spur, indem sie ihre Spurführung anhand zahlreicher kleiner Lenkkorrekturen optimierten. Dadurch konnten sie Annäherungen an den Fahrspurrand und Spurüberschreitungen vorbeugen. Im Unterschied zum Info-Assistenten verursachte der Warn-Assistent jedoch keine Destabilisierung der Spurführung, da die Fahrer anscheinend vor allem die mit geringerer Ablenkung verbundene Warn-Komponente des Assistenten nutzten. Offensichtlich war also gerade die Warn-Komponente als unterscheidendes Merkmal der ansonsten baugleichen Assistenten besonders nützlich für die Aufgabenbewältigung. So bewerteten die Fahrer die warnende Komponente im Gegensatz zur informierenden Komponente des Assistenten inhaltlich und hinsichtlich ihrer kürzeren Aktivitätsdauer als nützlich. Außerdem nutzten die Fahrer den Warn-Assistenten im Gegensatz zum Info-Assistenten als originäre Informationsquelle und bezogen ihn damit in die Aufgabenbewältigung ein. Somit schien bei fehlenden Informatio-

nen im Bereich der Querführung die Unterstützung eines antizipativen Verhaltens aufgrund frühzeitiger Hinweise zwar hilfreich, gleichzeitig waren aber zu umfangreiche Informationen nicht erforderlich oder lenkten sogar ab. Entscheidend für die unterstützende Wirkung des Warn-Assistenten schien daher, dass er sich auf die Hinweise beschränkte, die die Fahrer wirklich benötigten. Anstelle einer Information über alle Fahrspurbereiche schienen in dieser Aufgabe Hinweise über die Bereiche der Fahrspurränder ausreichend. Die Fahrer nutzten diese Warnungen antizipativ und konnten dann eigenständig die notwendigen Lenkhandlungen vornehmen.

Wenig geeignet als Unterstützung bei fehlenden Informationen in der Querführung schien die Eingriffsfunktion zu sein, da sie kein antizipatives Verhalten der Fahrer innerhalb der Fahrspur unterstützte und konstruktionsgemäß erst bei Erreichen des Fahrspurrandes eingriff. Dadurch konnten Spurüberschreitungen weniger häufig verhindert werden als mit den anderen Assistenten.

Vergleicht man diese Erkenntnisse mit den im theoretischen Teil vorgestellten Befunden aus der Literatur, die die Wirksamkeit von Assistenzfunktionen bei mangelnder Sicht untersuchten, so fanden sich dort ebenfalls positive Effekte des Warn-Assistenten im Vergleich zur manuellen Fahrt. Allerdings zeigten sich auch bei den anderen Assistenzfunktionen positive Effekte. Da alle Assistenzfunktionen allerdings jeweils mit einer Kontrollgruppe verglichen wurden und nie mehrere Assistenzfunktionen miteinander, ist anhand der Literaturbefunde im Unterschied zur vorliegenden Untersuchung keine Aussage über die wirksamste Assistenzfunktion bei mangelnder Sicht möglich. Die in der vorliegenden Studie aufgezeigte Notwendigkeit, die Assistenzfunktion auf die wesentlichen Informationen zu beschränken, können anhand der Literaturbefunde nicht bestätigt werden. Dieses lag aber sicherlich daran, dass der in nur einer Studie (Tan & Steinfeld, 2000) untersuchte Info-Assistent, der eine Informationsüberlastung hätte hervorrufen können, bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten genutzt wurde und außerdem nicht mit einem möglicherweise gezielter unterstützenden Warn-Assistenten verglichen worden war.

Welche Assistenzfunktion unterstützte bei erschwerter Handlungsplanung am wirksamsten?

In der Längsführungsstudie bei erschwerter Handlungsplanung waren aufgrund erwartbarer oder unerwartbarer Bremsmanöver eines Führungsfahrzeugs die Anforderungen in der Handlungsplanung variiert worden, während die Anforderungen in der Informationsaufnahme und Handlungsausführung konstant blieben. In der leichten Aufgabe war aufgrund von Geschwindigkeitsbeschränkungen oder querenden Fahrzeugen mit einer Verzögerung des Führungsfahrzeugs zu rechnen, so dass die Probanden vor dessen Bremsmanöver bereits das eigene Verhalten planen konnten. In der schwierigen Aufgabe konnte diese Planung erst mit Bremsbeginn starten, da das Bremsmanöver des Führungsfahrzeugs unerwartet eintrat. Da die Fahrer dem Führungsfahrzeug mit sicherem, aber geringem Abstand folgen sollten, nahm zudem die Kritikalität der Situation mit Bremsbeginn zügig zu, so dass wenig Zeit zum Reagieren bestand. Beide Aufgaben unterschieden sich somit darin, wie gut das Bremsverhalten des Führungsfahrzeugs antizipierbar war und ob der Fahrer daher das eigene Verhalten bereits vor Eintritt des Ereignisses planen konnte.

Bei Gültigkeit der Hypothese, dass eine mit den Aufgabenanforderungen abgestimmte Assistenzfunktion die beste Unterstützung bietet, wäre zu erwarten, dass der Warn-Assistent bei der vorliegenden Variation der Handlungsplanung die wirksamste Assistenzfunktion darstell-

te. Jedoch konnte der Warn-Assistent die Fahrer nicht wirksamer unterstützen als wenn sie ohne Assistenz fuhren. Die Funktion des Warn-Assistenten bestand darin, dem Fahrer in Abhängigkeit der Kollisionsgefahr eine Entscheidungshilfe dafür zu geben, wann er bremsen sollte. Trotz dieser Warnung dauerten Situationen mit kritischen TTC-Werten während des Verzögerungsprozesses ähnlich lange an wie bei unassistierter Fahrt und traten ebenso frühzeitig nach Bremsbeginn des Führungsfahrzeugs auf. Die Fahrer starteten den Bremsvorgang genauso spät und bremsten ähnlich langsam wie bei der unassistierten Fahrt. Dadurch war keine zeitnahe Anpassung der eigenen Geschwindigkeit an das Verzögerungsverhalten des Führungsfahrzeugs möglich. Die Unterstützung der Bremsentscheidung durch den Warn-Assistenten konnte somit die Handlungsfähigkeit der Probanden gegenüber der unassistierten Fahrt nicht beschleunigen. Wahrscheinlich entscheidend für die geringe Unterstützungswirkung war die fehlende Vorausschau des Warn-Assistenten. Da die mit der Warnung verknüpfte TTC erst bei Bremsbeginn des Führungsfahrzeugs deutlich sank, konnte erst bei Bremsbeginn eine Warnung erfolgen. Ab diesem Zeitpunkt konnten die Fahrer die Situationsentwicklung jedoch auch direkt in der Umwelt wahrnehmen. Durch den späten Warnzeitpunkt hatten die Fahrer mit dem Warn-Assistenten nur ähnlich wenig Zeit zum Reagieren zur Verfügung wie bei der unassistierten Fahrt und konnten keine antizipative Verhaltensanpassung vornehmen. Die zügige Gefahrenzunahme nach dem Bremsbeginn zeigte der Warn-Assistent dann zwar korrekt an. Diese Bremsaufforderung konnte aber wegen der wahrscheinlich insgesamt sehr kurzen Situationsdauer die Bremsbehandlung der Fahrer nicht in ausreichendem Maße beschleunigen, so dass die Situation zunehmend kritischer wurde.

Somit bot der Warn-Assistent aufgrund seiner nicht vorausschauenden Entscheidungsunterstützung keine Hilfestellung, die der Fahrer nicht auch selbst über die Wahrnehmung und Interpretation der Umweltreize erhalten konnte, und stellte daher keine optimale Umsetzung zur Unterstützung der Handlungsplanung dar. Da die Warnung zeitgleich mit dem Bremsmanöver des Führungsfahrzeuges erfolgte, konnte der Warn-Assistent die Fahrer nicht ausreichend darin unterstützen, eine Bewertung der Situation vorzunehmen und eine entsprechende Handlungsplanung zu treffen. Eine bessere Unterstützung hätte beispielsweise in einer Warnung bestanden, die bereits vor Eintritt des kritischen Ereignisses warnt und dem Fahrer dadurch eine antizipative Handlungsplanung ermöglicht. Erst durch eine vorausschauende Warnung erhielt der Fahrer einen Mehrwert und einen Zeitvorteil gegenüber einer eigenen Interpretation der direkt in der Umwelt wahrnehmbaren Informationen. Aufgrund dieser Warnung könnten die Fahrer ihr Verhalten wahrscheinlich bereits vor Eintritt des Bremsereignisses anpassen und außerdem eine zügigere Handlungsplanung bei Eintritt des Ereignisses treffen. Eine vorausschauende Warnung ließe sich beispielsweise realisieren durch eine Kopplung der Warnung an Ereignisse, die zeitlich vor Beginn des Bremsereignisses erfolgen und einen guten Prädiktor für das Bremsereignis darstellen. Anstelle der Kopplung der Warnung an das Bremsmanöver des direkten Führungsfahrzeugs wäre beispielsweise eine Kopplung an das Bremsmanöver des übernächsten Führungsfahrzeugs denkbar, das ja der Auslöser für das eigene Bremsverhalten gewesen sein mag. Denkbar wäre ebenso eine Kopplung der eigenen Warnung an eine im Führungsfahrzeug erfolgende Warnung.

Die Wirksamkeit vorausschauender Fahrerassistenzsysteme wurde bereits in Forschungsprojekten thematisiert. So wurden beispielsweise im Projekt PReVENT (z.B. Nöcker, Mezger & Kerner, 2005) Kommunikationsverfahren zwischen Fahrzeugen bzw. zwischen Fahrzeug und Infrastruktur als nützlich für Warnungen bei eher dynamischen Gefahren wie einem Unfall identifiziert, sowie digitale Karten als nützlich für Warnungen bei statischen Gefahren. Bei Beurteilungen des Warn-Assistenten hinsichtlich seiner Eignung als Assistenzfunktion für

Aufgabenanforderungen im Bereich der Handlungsplanung sollte in künftigen Untersuchungen daher eine vorausschauende Konzeption des Assistenten berücksichtigt werden.

In der vorliegenden Studie erfolgte aufgrund der ausbleibenden Unterstützung durch den Warn-Assistenten eine weitere Gefahrenzunahme der Verkehrssituation, in der sich der Eingriff als wirksamste Unterstützung erwies. Die Funktion des Eingriffs bestand darin, bei akuter Gefahr die Bremshandlung zu übernehmen bzw. das Bremsen des Fahrers zu verstärken. Der Eingriff wurde aktiv bei Erreichen eines entsprechenden Grenzwertes der TTC. Aufgrund seiner Kopplung an die TTC bremste der Eingriff das Fahrzeug frühzeitiger ab und erreichte zügiger die notwendige Bremsstärke als die Fahrer in der unassistierten Fahrt oder den anderen Assistenzbedingungen dazu selbst in der Lage waren. Dadurch konnte die Fahrzeugverzögerung von Beginn des Bremsmanövers an besser an das rasche Verzögerungsverhalten des Führungsfahrzeugs angepasst werden. Gleichzeitig musste der Fahrer bei Nutzung des Eingriffs weniger Bremskraft aufbringen als bei Nutzung der anderen Assistenten. Die Wirksamkeit des Eingriffs in dieser Situation schien somit darin zu bestehen, dass er bei der vorhandenen zügigen Gefahrenzunahme aufgrund seiner Kopplung an die aktuelle TTC frühzeitiger und zügiger verzögern konnte als die Fahrer.

Die Notwendigkeit eines schnell wirkenden Eingriffs in zeitlich begrenzten Situationen wurde bereits in anderen Studien belegt. Beispielsweise wurden in der Analyse von Vollrath, Briest, Schießl, Drewes und Becker (2006) anhand von Unfallanalysen Fehlhandlungen beim Autofahren identifiziert, um daraus Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme abzuleiten. Darin zeigte sich, dass bei einer Fehlinterpretation der Situation durch den Fahrer eine Warnung zur Korrektur der Handlungsplanung nicht immer ausreicht, sondern aufgrund der dann oftmals knappen Zeit eine aktive Unterstützung notwendig ist. Möglicherweise könnte daher ein Eingriff unabhängig von der Art der Aufgabenanforderungen immer auch dann nützlich sein, wenn vorherige Assistenzfunktionen den Fahrer nicht wirksam unterstützen konnten. Diese Annahme wird in marktgängigen Systemen bereits berücksichtigt, in denen mehrere Assistenzfunktionen hintereinander geschaltet sind und in eine automatische Notbremsung münden, sofern die vorherigen Assistenzfunktionen wie Warnungen oder Bremsunterstützungen nicht ausreichen (z.B. „Vorausschauendes Notbremssystem“ von Bosch).

Vergleicht man die Ergebnisse der Studie mit den im theoretischen Teil genannten Literaturbefunden zur Längsführungsunterstützung bei plötzlichen Bremsreaktionen, so finden sich auch in der Literatur zahlreiche Belege für die Wirksamkeit von Warnungen in dieser Situation. Verglichen wurden die untersuchten Warnkonzepte allerdings nur mit Kontrollgruppen und es gab keine Untersuchungen zu Info-Assistenten oder Eingriffen, so dass weder Aussagen zur Wirksamkeit der beiden letztgenannten Assistenzfunktionen noch Aussagen über die am besten wirksame Assistenzfunktion möglich sind. Leider wurden in den betrachteten Literaturbefunden vorausschauende Warnkonzepte nicht berücksichtigt, so dass die in vorliegender Studie aufgezeigte Notwendigkeit einer vorausschauenden Warnung nicht bestätigt werden kann. Allerdings wurde in etlichen Studien gezeigt, dass Warnungen frühzeitig erfolgen müssen, um dem Fahrer Zeit für eine Interpretation der Situation und eine Handlungsplanung zu verschaffen (z.B. Lee et al., 2002).

Welche Assistenzfunktion unterstützte bei erschwerter Handlungsausführung am wirksamsten?

In der Querschnittsstudie bei erschwerter Handlungsausführung war die Lenkhandlung aufgrund unterschiedlich enger und schnell aufeinander folgender Kurven variiert, während die

Anforderungen in der Informationsaufnahme und Handlungsplanung konstant blieben. In der leichten Aufgabe war aufgrund großer Kurvenradien ein kleiner Lenkwinkel erforderlich. In der schwierigen Aufgabe mussten die Fahrer hingegen aufgrund der kleinen Kurvenradien größere Lenkwinkel wählen und wegen einer zügigeren Kurvenabfolge mehr Lenkhandlungen ausführen, so dass die Lenktätigkeit erschwert war. Als Folge dieser Anforderungen können höhere Lenkfehler auftreten, da bei größeren Lenkwinkeln stärker von der idealen Fahrspur abgewichen wird und das Fahrzeug eher an den Fahrspurrand gelangt. Aufgrund der unterschiedlich schwierigen Handlungsausführung resultierte somit, wie zügig die Kritikalität der Situation zunahm. Daraus ergab sich dann für den Fahrer ein akuter Handlungsbedarf, um die Gefahrensituation zu vermeiden oder zu verkürzen.

Bei Gültigkeit der Hypothese, dass eine mit den Aufgabenanforderungen abgestimmte Assistenzfunktion die beste Unterstützung bietet, wäre zu erwarten, dass der Eingriff die wirksamste Unterstützung bei der gegebenen Variation der Anforderungen im Bereich der Handlungsausführung darstellt. Tatsächlich konnte der Eingriff die Fahrer am besten unterstützen. Er hatte die Funktion, den Fahrer bei der Handlungsausführung zu ergänzen bzw. zu ersetzen, indem bei zunehmender Querablage eine Gegenkraft auf das Lenkrad aufgebracht wurde. Durch diese Gegenkraft konnte das Fahrzeug im Vergleich zu den Fahrern vor allem zügiger wieder in die Richtung der Spurmitte gelenkt werden. Der Vorteil des Eingriffs in dieser Situation bestand darin, dass seine Lenkaktivität in Bezug auf den Beginn und die Stärke allein an die Querablage gekoppelt und unabhängig vom Fahrerverhalten war. Dadurch begann er, das Fahrzeug in die Spur zurückzulenken, sobald entsprechende Querablagewerte erreicht wurden und konnte deshalb die Dauer von Spurüberschreitungen gegenüber dem allein vom Fahrer gezeigten Lenkverhalten der anderen Bedingungen reduzieren. Möglicherweise hätte der Eingriff neben der Dauer auch die Anzahl der Spurüberschreitungen reduzieren können, wenn das Lenkmoment nicht in Abhängigkeit der aktuellen Querablage errechnet worden wäre, sondern eine vorausschauende Betrachtung vorgenommen worden wäre.

Wenig wirksam bei akutem Handlungsbedarf waren hingegen eine Informationsfunktion und eine Warnfunktion. Obwohl gerade der Warn-Assistent als gut gestaltet bewertet wurde, nutzten die Fahrer diese Hinweise jedoch offensichtlich nicht und konnten ihre Fahrspur nicht zügiger korrigieren als in den anderen Assistenzbedingungen. Eine Information über die Spurposition bzw. eine Warnung vor dem Verlassen der Spur ermöglichte es den Fahrern also nicht, ihre Spurführung frühzeitig zu verbessern. Möglicherweise verschlechterte sich die Situation zu schnell, als dass diese Hinweise rechtzeitig genutzt werden konnten. Möglicherweise waren diese Hinweise auch deshalb nicht hilfreich, weil die Fahrer sie durch einen Blick auf die Fahrspur selbst erhalten konnten.

Vergleicht man die Erkenntnisse der vorliegenden Studie mit den im theoretischen Teil vorgestellten Literaturbefunden, in denen die Wirksamkeit von Assistenzsystemen zur Unterstützung der Querführung bei kurvigen Strecken oder bei Spurverlassensereignissen untersucht wurde, so zeigten sich ebenfalls positive Effekte des Eingriffs. Allerdings wurde in den meisten Studien nur eine Assistenzfunktion mit einer Kontrollgruppe verglichen und es fanden sich auch positive Effekte der Warnfunktion. In der einzigen Studie, in der ein Eingriff und ein Warn-Assistent gleichzeitig untersucht wurden (Yoshida et al., 2006), erwies sich der Eingriff aufgrund seiner schnelleren Wirksamkeit überlegen und stützt daher die Ergebnisse der vorliegenden Studie. Die Wirkung des Eingriffs in den Literaturbefunden schien vor allem in einer Reduzierung der Spurverlassensereignisse bzw. einer Verbesserung der Spurfüh-

rung zu bestehen, während der Fahrer vor allem die Reaktionsfähigkeit des Probanden verbessern konnte.

8.3 Fazit: Ist eine Abstimmung der Assistenzfunktion mit den Aufgabenanforderungen sinnvoll?

In der bisherigen Diskussion wurde für die untersuchten Anforderungen erörtert, ob die jeweils beste Unterstützung durch diejenige Assistenzfunktion erbracht wurde, die auch am besten mit den Anforderungen abgestimmt war. Die Betrachtung aller Ergebnisse zusammen soll nun eine Einschätzung darüber erlauben, ob die Abstimmung einer Assistenzfunktion mit den Anforderungen einer Fahraufgabe generell sinnvoll erscheint oder nicht.

In 2 der 4 Studien wurde die wirksamste Unterstützung von derjenigen Assistenzfunktion erbracht, die am besten auf die Anforderungen der Situation einging. So zeigte sich, dass eine erschwerte Informationsaufnahme im Rahmen der Längsführung am wirksamsten durch eine Informationsfunktion unterstützt werden konnte. Wenn also relevante Informationen in der Umwelt noch nicht sichtbar sind, so bietet eine Assistenzfunktion dem Fahrer durch Anzeige dieser Information einen Vorteil gegenüber der unassistierten Fahrt. Ebenso zeigte sich, dass eine erschwerte Handlungsausführung im Rahmen der Querführung am wirksamsten durch einen eingreifenden Assistenten unterstützt werden konnte. Wenn also aufgrund der Streckenführung die Lenktätigkeit erschwert ist, so bietet eine Assistenzfunktion dem Fahrer durch Unterstützung bei dieser Handlungsausführung einen Mehrwert. In beiden Fällen lieferte die wirksamste Assistenzfunktion demnach Unterstützung bei genau der Anforderung, die in der Aufgabe erschwert war und daher vom Fahrer benötigt wurde. Soweit scheint das Konzept der Abstimmung von Assistenzfunktionen mit Aufgabenanforderungen grundsätzlich eine sinnvolle Vorgehensweise darzustellen, um die Wirksamkeit von Assistenzsystemen zu erhöhen. Demnach scheint es grundsätzlich sinnvoll zu sein, eine erschwerte Informationsaufnahme durch eine Informationsfunktion bzw. eine erschwerte Handlungsplanung durch eine Warnfunktion bzw. eine erschwerte Handlungsausführung durch einen Eingriff zu unterstützen.

Eine alternative Hypothese zum Konzept der Abstimmung von Assistenzfunktion und Aufgabenanforderungen hätte darin bestanden, den Eingriff unabhängig von der Art der Anforderungen als wirksamste Assistenzfunktion zu vermuten, da er als höchste Automatisierungsstufe dem Fahrer die weitestgehende Unterstützung bietet. Die Ergebnisse der Studien sprechen jedoch gegen diese Hypothese, da ansonsten der Eingriff immer die wirksamste Assistenzfunktion hätte sein müssen. Beispielsweise erwies sich bei entsprechenden Anforderungen eine Informationsfunktion gegenüber einem Eingriff als wirksamer und wurde von den Fahrern bevorzugt, auch wenn die Informationsfunktion eine stärkere Mitwirkung des Fahrers bei der Aufgabenbewältigung erforderte als der Eingriff.

Umgekehrt hätte man auch vermuten können, dass Fahrer unabhängig von der Art der Anforderungen eine Informationsfunktion bevorzugen, da sich in jeder Studie die Anforderungen als zeitliche Anforderungen äußerten und eine Informationsfunktion als erstes aktives Assistenzsystem dem Fahrer die meiste Zeit zum Reagieren verschaffen könnte. Auch diese mögliche Annahme hat sich nicht bestätigt. Offensichtlich ist eine Assistenzfunktion nicht aufgrund ihres absoluten Aktivitätszeitpunktes nützlich, sondern eher dann, wenn sie dem Fahrer bei den jeweiligen Anforderungen einen Vorteil verschafft. Diesen Vorteil kann eine Informationsfunktion verschaffen, wenn sie eine Information anzeigt, die der Fahrer in der Realität noch nicht wahrnehmen kann. Der Vorteil besteht in diesem Fall darin, dass der

Fahrer aufgrund der angezeigten Information mehr Zeit zum Reagieren erhält. Hingegen verschafft eine frühzeitige Informationsfunktion beispielsweise bei Anforderungen im Bereich der Handlungsausführung keinen Zeitvorteil, da die Information dann auch redundant in der Umwelt für den Fahrer wahrnehmbar ist. Stattdessen wird dann offensichtlich durch einen Eingriff Zeit gewonnen, da der Eingriff zügiger und präziser erfolgt als der Fahrer agieren kann.

Die Ergebnisse der beiden anderen Studien zeigten keine Übereinstimmung zwischen den variierten Aufgabenanforderungen und der wirksamsten Assistenzfunktion. Dieses verdeutlicht, dass das Konzept der Abstimmung von Assistenzfunktion und Anforderung in der bisherigen Form, die in Form eines 9-Felder Schemas den 3 Anforderungsbereichen 3 Assistenzfunktionen zuordnet, anscheinend um einige Aspekte erweitert werden muss.

Die Querführungsstudie bei erschwerter Wahrnehmung verdeutlichte, dass die Fahrer je nach Situation möglicherweise unterschiedliche Hinweise mit beispielsweise unterschiedlicher Auflösung oder unterschiedlicher Kontinuität benötigen. Während in der Längsführungsaufgabe bei erschwerter Informationsaufnahme eine kontinuierliche Bereitstellung der fehlenden Information für alle Fahrspurbereiche wirksam war, lenkte diese Informationsfülle in der entsprechenden Querführungsstudie ab. Dort war stattdessen eine Warnung beim Annähern an den Fahrspurrand wirksam, die diskret nur bei steigender Gefahr erfolgte und sich nur auf die Fahrbahnrande bezog. Anscheinend stellten also Kenntnisse über den mittleren Fahrspurbereich dort keinen Mehrwert für die Fahrer dar. Dieses deutet darauf hin, dass je nach Aufgabe und Situation unterschiedliche Aspekte in unterschiedlicher Auflösung für den Fahrer relevant sein können. Wahrscheinlich stellt eine Erschwernis der Informationsaufnahme nicht in jeder Situation dieselben Anforderungen an den Fahrer und beeinträchtigt seine Aufgabenbewältigung je nach Situation auf unterschiedliche Weise. Eine Weiterentwicklung des hier untersuchten Abstimmungskonzeptes könnte daher beispielsweise darin bestehen, für die durch ein Assistenzsystem zu unterstützende Aufgabe Aufgabenanalysen durchzuführen (z.B. Hierarchische Aufgabenanalyse), um ein besseres Verständnis über die in der spezifischen Situation auszuführenden Teilaufgaben zu erhalten. In Verbindung damit wäre möglicherweise die Anwendung komplexerer Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung anstelle des verwendeten dreistufigen Informationsverarbeitungsmodells sinnvoll. Dadurch könnte möglicherweise präziser beschrieben werden, welche der durch die Aufgabenanalyse identifizierten Aufgaben und Anforderungen vom Fahrer als schwierig wahrgenommen werden und daher der Unterstützung bedürfen. Durch die Anwendung von Aufgabenanalysen und komplexer Informationsverarbeitungsmodellen wäre somit eine noch präzisere Abstimmung der Assistenzfunktionen auf die an den Fahrer gestellten Anforderungen denkbar.

Die Längsführungsstudie bei erschwerter Handlungsplanung zeigte, dass die Warnfunktion trotz ihrer formalen Abstimmung mit den Aufgabenanforderungen nicht wirksam unterstützen konnte, da sie erst dann warnte, als das kritische Ereignis auch für den Fahrer erkennbar wurde. Die Warnung stellte dadurch keine wirksame Unterstützung des Fahrers dar. Da sie relevante Hinweise nicht frühzeitiger zugänglich machte als in der Umwelt ersichtlich, verschaffte sie den Fahrern keinen Zeitvorteil. Dadurch erfolgte die Warnung so kurzfristig vor Eintreten des kritischen Ereignisses, dass nur noch ein Eingriff die Kritikalität der Situation reduzieren konnte. Damit zeigt sich, dass für die Wirksamkeit einer Assistenzfunktion die formale Passung mit den Aufgabenanforderungen allein möglicherweise nicht ausreicht. Es genügt also beispielsweise nicht, dem Fahrer bei einer erschwerter Handlungsplanung die

korrekte Handlung zu empfehlen. Vielmehr scheint wichtig, dass die Assistenzfunktionen in der spezifischen Situation, für die sie konzipiert wurden, auch wirklich unterstützend wirken und dem Fahrer einen Vorteil beispielsweise zeitlicher Natur gegenüber einer unassistierten Fahrt verschaffen. Es ist also zum Beispiel wichtig, dass die Handlungsempfehlung durch das System zu einem Zeitpunkt erfolgt, wenn der Fahrer ohne System sein Handeln noch nicht planen kann. So hätte in der genannten Studie möglicherweise eine vorausschauende Warnung eine wirkliche Unterstützung der Handlungsplanung erlaubt. Für die Realisierung solch vorausschauender Assistenzfunktionen kann der Einsatz neuer Technologien wie beispielsweise Car-to-Car Kommunikation oder Car-to-Infrastructure Kommunikation sinnvoll und notwendig sein. Eine sinnvolle Erweiterung des vorliegenden Entwicklungskonzeptes von Assistenzsystemen sollte daher eine Evaluierung und Sicherstellung der erwünschten Wirkungsweise von Assistenzsystemen vorsehen.

Insgesamt weisen die Studienergebnisse darauf hin, dass die Abstimmung der Assistenzfunktion mit den Anforderungen einer Fahraufgabe eine sinnvolle Heuristik zur Verbesserung der Wirkung von Fahrerassistenzsystemen darstellt. Eine Weiterentwicklung dieses Konzeptes bestünde darin, das vorgestellte 9-Felder Schema, in dem drei Assistenzfunktionen und drei entsprechende Anforderungen unterschieden werden, weiter zu differenzieren. Anhand von Aufgabenanalysen der zu unterstützenden Aufgabe und komplexerer Informationsverarbeitungsmodelle könnte ein genaueres Verständnis über den Unterstützungsbedarf des Fahrers gebildet werden und die geeignete Assistenzfunktion noch präziser definiert werden. Ist schließlich eine Assistenzfunktion identifiziert worden, so sollte deren Wirksamkeit und ihr Mehrwert für den Fahrer im Vergleich zu einer unassistierten Fahrt evaluiert werden.

Die Abstimmung der Assistenzfunktionalität mit den Aufgabenanforderungen ermöglicht es, den Fahrer ausschließlich mit der Funktion zu unterstützen, die er auch wirklich benötigt anstelle einer statischen Unterstützung durch beispielsweise die höchste Automatisierungsstufe. Wie die Ergebnisse zeigen, führt diese Vorgehensweise nicht nur zu einer verbesserten Fahrleistung und Reduzierung der subjektiven Beanspruchung der Fahrer, sondern auch zu einer höheren Akzeptanz der Systeme und lässt daher eine bessere Marktdurchdringung für diese Fahrerassistenzsysteme vermuten. Ein weiterer Vorteil der beschriebenen Abstimmung der Funktion auf die Anforderungen könnte möglicherweise darin bestehen, dass einige der in der Literatur beschriebenen Nachteile von Automation abgeschwächt werden. Ein nachteiliger Effekt durch Automation ist beispielsweise die mit out-of-the-loop Problematik beschriebene abnehmende Fähigkeit des Operators, in die Systemaktivitäten im Notfall einzugreifen und manuell die Kontrolle zu übernehmen (Kaber & Endsley, 2003). Die Häufigkeit solcher Situationen könnte möglicherweise reduziert werden, da aufgrund der Abstimmung des Assistenzsystems nur der schwierige Teil der Aufgabe unterstützt wird und der Fahrer alle anderen Teilaufgaben selbst erledigen muss im Vergleich beispielsweise zu einer weitgehenden Automatisierung durch das ACC, das – wie in der Literaturrecherche beschrieben – eher zu einer Verschlechterung der Situationsrepräsentation des Fahrers führt.

8.4 Methodische Aspekte bei Untersuchungen zur Wirkung von Fahrerassistenzsystemen

Anhand der vorliegenden Arbeit werden einige methodische Aspekte deutlich, die für Untersuchungen der Wirkung von Fahrerassistenzsystemen relevant erscheinen.

Die methodische Vorgehensweise der Arbeit lässt sich als dreistufigen Prozess beschreiben. Zunächst wurden die Anforderungen einer Fahraufgabe oder Situation anhand von Literatur-

befunden identifiziert. Es folgte die Entwicklung mehrerer unterschiedlicher Assistenzsystemkonzepte, von denen ein System bezüglich seiner Funktionalität mit den Anforderungen der Situation abgestimmt war. Schließlich wurde die Wirkung der Assistenzsystemkonzepte für diese Anforderungen und andere Anforderungsbereiche evaluiert.

Als wesentlich bei der Evaluation der Assistenzkonzepte erscheint zum einen, dass - auf der Ebene einer Studie - stets alle Assistenzkonzepte hinsichtlich einer Anforderung miteinander verglichen werden. Erst bei Berücksichtigung aller Funktionen ist eine Aussage darüber möglich, welche Assistenzfunktion den Fahrer bei einer Anforderung im Vergleich zu den anderen Assistenzfunktionen am wirksamsten unterstützen kann. Wichtig ist zum anderen, dass - über die vier Studien hinweg - dieser Vergleich der Assistenzfunktionen hinsichtlich verschiedener Anforderungsbereiche erfolgt. Dabei muss jede Assistenzfunktion sowohl für eine Situation evaluiert werden, bei der ihre unterstützende Wirkung vermutet wird, als auch für Situation, bei denen nicht von einer unterstützenden Wirkung des Assistenzsystems ausgegangen wird. Erst durch diesen Vergleich über eine Bandbreite verschiedener Anforderungen hinweg ist eine Aussage darüber möglich, bei welcher Art von Anforderungen eine Assistenzfunktion eine wirksame Unterstützung darstellt und bei welchen Anforderungen nicht.

Insgesamt lässt sich anhand der beschriebenen Vorgehensweise somit systematisch ermitteln, welche Assistenzfunktion die beste Unterstützung für eine spezifische Anforderung darstellt. Die Vorgehensweise stellt daher eine geeignete Methode zur Untersuchung der Wirkung von Fahrerassistenzsystemen dar. Wie im Fazit der Literaturrecherche beschrieben, wäre eine höhere Anzahl von Studien wünschenswert, die dieser Methodik folgen. Aus methodischer Sicht scheint es bei Untersuchungen zur Wirkung von Fahrerassistenzsystemen insbesondere wichtig, die Wirkung eines Systems mit der anderer zu vergleichen, um die Wirksamkeit des Systems zu belegen, sowie die Wirkung anhand einer Bandbreite von Situationen zu testen und nicht nur anhand einer willkürlich ausgewählten Situation. Daneben ist es sinnvoll, nicht nur die Wirkung auf das Fahrverhalten, sondern auch auf weitere objektive und subjektive Daten - wie beispielsweise Akzeptanz und Beanspruchung - zu untersuchen. Zur besseren Vergleichbarkeit der Anforderungen über Studien hinweg scheint es reizvoll, vergleichbare Situationen zu verwenden und die Wirkungsweise von Assistenzfunktionen beispielsweise anhand standardisierter Sets von Situationen zu testen. Fraglich ist allerdings, ob bei einer solchen Standardisierung nicht möglicherweise etliche Situationen und damit verbunden entsprechende unterstützende Assistenzfunktionen unberücksichtigt bleiben.

8.5 Inhaltliche Aspekte bei der Funktionsgestaltung von Fahrerassistenzsystemen

Neben methodischen Aspekten werden anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit einige inhaltliche Aspekte deutlich, die bei der Entwicklung und Gestaltung der Funktionen von Fahrerassistenzsystemen berücksichtigt werden sollten.

In erster Linie hat die Untersuchung der Fragestellung dieser Arbeit gezeigt, dass es offensichtlich nicht die eine für alle Situationen geeignete Assistenzfunktion gibt, sondern dass vielmehr für die Wahl des optimalen Fahrerassistenzsystems die Anforderungen der Situation nicht unberücksichtigt bleiben dürfen. Daher sollte bei der Entwicklung und Definition der Funktionen eines Assistenzsystems der spätere Nutzungskontext berücksichtigt werden und das Assistenzsystem mit den entsprechenden Anforderungen abgestimmt werden. Diese Abstimmung ermöglicht eine sinnvolle Unterstützung des Fahrers. Hingegen stellt eine Un-

terstützung einer nicht fordernden Aufgabe eine redundante Unterstützung dar, weil diese Aufgabe auch vom Fahrer selbst ausgeführt werden kann. Diese Assistenzfunktionen wird dann vom Fahrer wahrscheinlich nicht genutzt.

Damit diese mit den Anforderungen abgestimmte Assistenzfunktion auch wirksam sein kann, sind anhand der Ergebnisse zwei Bedingungen deutlich geworden. Zum einen muss die abgestimmte Assistenzfunktion so gestaltet sein, dass sie dem Fahrer einen Vorteil gegenüber der unassistenten Fahrt bietet. Das kann bei einer Informationsfunktion oder einer Warnfunktion ein zeitlicher Vorteil sein, wenn beispielsweise die Information angezeigt wird, bevor sie in der Umwelt sichtbar ist. Bei einem Eingriff kann dieser Vorteil beispielsweise in einer hohen Bremskraft bestehen, die der Fahrer nicht aufbringen würde oder könnte. Weitere Vorteile eines Eingriffs gegenüber einer Ausführung durch den Fahrer können beispielsweise in Situationen auftreten, die eine hohe motorische Genauigkeit erfordern, aufgrund des motorischen Aufwands sehr anstrengend sind oder in denen sehr schnell reagiert werden muss. Bietet eine Assistenzfunktion diesen Vorteil nicht, so geht ihre Funktion nicht über das hinaus, was der Fahrer nicht auch selbst leisten könnte und wird dann vom Fahrer wahrscheinlich auch nicht genutzt.

Als zweite Bedingung für die Wirksamkeit der mit den Anforderungen abgestimmten Assistenzfunktion scheint wichtig, dass insbesondere bei einer Unterstützung der Informationsaufnahme oder der Handlungsplanung der Fahrer genügend Zeit für die Nutzung der Unterstützung und für die Umsetzung hat. Beispielsweise sollte bei einer Informationsfunktion der Fahrer noch genügend Zeit für die von ihm auszuführende Handlungsplanung und Handlungsausführung haben, bevor die Situation kritisch wird. Entsprechend scheinen Informations- und Warnfunktionen eher geeignet für Situationen, in denen der Fahrer die Situation nach entsprechender Unterstützung selbst regeln kann. Situationen mit akutem Handlungsbedarf scheinen hingegen eher einen Eingriff zu erfordern.

Ein wichtiger Aspekt bei der Umsetzung der mit den Anforderungen abgestimmten Assistenzfunktionen in reale Anwendungen betrifft die Wahl der Automatisierungsstufe im Zeitverlauf. Um in den durchgeführten Studien die Wirksamkeit jeder Assistenzfunktionen für eine bestimmte Anforderung über einen längeren Zeitraum untersuchen zu können, wurden die jeweilige Anforderung sowie eines der Assistenzsysteme für den gesamten Verlauf einer Fahrt konstant dargeboten. Assistenzsysteme, deren Automatisierungsstufe vor der Nutzung festgelegt wird und dann unabhängig von den situativen Bedingungen dem Fahrer unverändert angeboten wird, werden in der Literatur als statische oder fixierte Assistenz bezeichnet (z.B. Sheridan & Parasuraman, 2006).

In der Realität bestehen allerdings Anforderungen oftmals nur für kurze Zeitspannen und wechseln sich mit anderen Anforderungen ab. Als mögliche Lösung wird in der Literatur das Konzept der adaptiven Assistenz genannt, bei der die Assistenzfunktion und damit die Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Fahrerassistenzfunktion dynamisch in Abhängigkeit der Situation während der Fahrt wechseln können. Die Kontrolle über diese Aufgabenverteilung liegt bei adaptiver Assistenz beim System und nicht beim Menschen, da das System über den Zeitpunkt und die Wahl der Assistenzfunktion entscheidet (Wandke, 2005).

Somit wäre es sinnvoll, eine wie in dieser Arbeit vorgeschlagene mit den Anforderungen abgestimmte Unterstützung des Fahrers als adaptive Assistenz umzusetzen, da anhand der Adaptivität auf die wechselnden Situationsanforderungen in Form der passenden Assistenzfunktion eingegangen werden kann. Das Fahrerassistenzsystem müsste während der Fahrt die existierenden Anforderungen identifizieren und die jeweils damit abgestimmte Assistenz-

funktion aktivieren. So würde beispielsweise ein Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung der Längsführung je nach Anforderung eine informierende oder eingreifende Funktion aktivieren. Vorteilhaft an einer adaptiven Gestaltung dürfte sein, dass der Fahrer nicht mehr kontinuierlich, sondern nur für die Dauer der Anforderung unterstützt wird und dadurch mögliche Nachteile einer Assistenzfunktion wie beispielsweise eine hohe Ablenkung eines Info-Assistenten reduziert werden können. Als weitere Vorteile adaptiver Gestaltung werden in der Literatur - für teilweise andere Anwendungsgebiete - beispielsweise die Reduzierung des Workload (Kaber & Endlsey, 2004), die Beibehaltung manueller Fähigkeiten des Operators (Wiener, 1988, zitiert nach Parasuraman & Wickens, 2008) und die Reduktion von Complacency (Parasurman, Mouloua & Molloy, 1996) – also die Verhinderung übergroßen Vertrauens in Automation – genannt.

Setzt man die vorgeschlagene mit den Anforderungen abgestimmte Unterstützung des Fahrers in Form einer adaptiven Systemgestaltung um, so stellen sich allerdings eine Reihe weiterer Fragen, die bei der Systemgestaltung berücksichtigt werden müssen, die aber über den Fokus dieser Arbeit hinausgehen und daher hier nur exemplarisch genannt werden können. Beispielsweise wird als Nachteil adaptiver Assistenz in der Literatur diskutiert, dass aufgrund der Aufgabenverteilung durch das System der Nutzer möglicherweise einen Kontrollverlust erfährt und dadurch die Akzeptanz der Assistenzsysteme leiden kann (z.B. Miller & Parasuraman, 2007). Als weiterer möglicher Nachteil wird genannt, dass aufgrund der Adaptivität die Aktivität des Fahrerassistenzsystems für den Fahrer schwierig vorherzusagen sein kann. Dadurch besteht die Gefahr, dass sich die Situation Awareness des Fahrers verschlechtert (Sheridan, 2006), der Fahrer also ein verschlechtertes Bewusstsein über die gegenwärtige und die künftige Situation hat. Vor einer adaptiven Umsetzung der Assistenzsysteme wäre demnach auf jeden Fall zu untersuchen, welche Auswirkungen die Adaptivität auf Akzeptanz, Situation Awareness und andere fahrverhaltensrelevante Variablen haben kann und inwiefern die in dieser Arbeit aufgezeigten Vorteile einer mit den Anforderungen abgestimmten Assistenzfunktionswahl durch die zusätzliche adaptive Gestaltung möglicherweise wieder egalisiert werden. Eine weitere Frage betrifft die Anzahl der in einem Assistenzsystem integrierbaren Funktionen. Hier wäre zu untersuchen, wie viele verschiedene Assistenzfunktionen vom Fahrer überhaupt unterschieden werden können und wie hoch daher die Anzahl der Assistenzfunktionen sein darf, die in einem Assistenzsystem integriert werden können. Im Zusammenhang mit der Kontrolle der Aufgabenverteilung durch das Assistenzsystem ergeben sich außerdem Fragen zur Schnittstellengestaltung zwischen Mensch und Maschine. Eine sorgfältige Gestaltung dieser Schnittstelle ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass der Fahrer nicht durch die Aktivitäten des Fahrerassistenzsystems überrascht wird (Inagaki, 2003). Hier stellt sich beispielsweise die Frage, wie anhand der Systemoberfläche dem Fahrer am besten die verschiedenen Systemzustände bzw. die Aktivität der verschiedenen Assistenzfunktionen kenntlich gemacht werden können. Der Fahrer sollte dabei sicherlich nicht nur erfahren, welche Assistenzfunktion aktuell aktiv ist, sondern auch weshalb. Außerdem wäre zu klären, wie die mit einem Wechsel der Aufgabenanforderungen zusammenhängende Übergabe der Fahraufgabe von der Fahrerassistenz an den Fahrer bzw. vom Fahrer an die Fahrerassistenz (Transitionen) optimal gestaltet werden kann.

9 Literaturverzeichnis

- Abe, G. & Richardson, J. (2005). The influence of alarm timing on braking response and driver trust in lower speed driving. *Safety Science*, 43, 639-654.
- Abe, G. & Richardson, J. (2006). Alarm timing, trust and driver expectation for forward collision warning systems. *Applied Ergonomics*, 37, 577-586.
- Alkim, T. P., Bootsma, G. & Hoogendoorn, S.P. (2007). *Field Operational Test "The Assisted Driver"*. Paper presented at the IEEE Intelligent Vehicles Symposium.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica*, 19(6), 775-779.
- Beier, G., Boemak, N. & Renner, G. (2001). Sinn und Sinnlichkeit – psychologische Beiträge zur Fahrzeuggestaltung und -bewertung. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (pp. S. 263-284). Berlin: Springer.
- Belz, S. M., Robinson, G.S. & Casali, J.G. (1998). *Auditory icons as impending collision system warning signals in commercial motor vehicles*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society.
- Bingham, C. R., Stemmler, M., Petersen, A.C & Graber, J.A. (1998). Imputing missing data values in Repeated Measurement Within-Subjects Designs. *Methods of Psychological Research Online*, 3(2), 131-155.
- Blaschke, C., Breyer, F., Färber, B., Freyer, J. & Limbacher, R. (2009). Driver Distraction based Lane-Keeping Assistance. *Transportation Research Part F*, 12(4), 288-299.
- Bortz, J. (1999). *Statistik*. Berlin: Springer-Verlag.
- Boyle, L. & Mannering, F. (2004). Impact of traveler advisory systems on driving speed. *Transportation Research, Part C*, 12, 57-72.
- Brandt, T., Sattel, T. & Böhm, M. (2007). *Combining haptic human-machine interaction with predictive path planning for lane-keeping and collision avoidance systems*. Paper presented at the IEEE Intelligent Vehicles Symposium.
- Brookhuis, K. A., De Vries, G. & De Waard, D. (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 23, 309-316.
- Brosius, F. (2006). *SPSS 14*. Heidelberg: mit.
- Brouwer, R. F. T., van Lambalgen, R. & Hoedemaeker, D.M. (2005). *Driver support and information systems: Experiments on learning, appropriation and effects of adaptiveness*. Versuch TNO: Aide Deliverable 1.2.3.
- Brunetti Sayer, T., Sayer, J.R. & Devonshire, J.M.H. (2005). Assessment of a driver interface for lateral drift and curve speed warning systems: mixed results for auditory and haptic warnings. *Proceedings of the third international driving symposium on human factors in driver assessment, training and vehicle design*.
- Brünger-Koch, M., Briest, S. & Vollrath, M. (2006). *Do you feel the difference? A motion assessment study*. Paper presented at the DSC Asia/Pacific, Tsukuba.
- Buld, S. & Krüger, H.-P. (2002). *Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit, Projekt EMPHASIS*. Würzburg: Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften (IZVW).
- Cacciabue, P. C. & Martinetto, M. (2006). A user-centred approach for designing driving support systems: The case of collision avoidance. *Cognition, Technology and Work*, 8, 201-214.
- Caro, S., Cavallo, V., Marendaz, C., Boer, E.R. & Vienne, F. (2009). Can headway reduction in fog be explained by impaired perception of relative motion? *Human Factors*, 51(3), 378-392.
- Chen, L.-K. & Ulsoy, A.G. (2006). Experimental evaluation of a vehicle steering assist controller using a driving simulator. *Vehicle System Dynamics*, 44(3), 223-245.

- Dannenberg, J. (2004). *Automobile Sicherheitstechnik*. Retrieved 06. Mai, 2004
- de Vos, A. P., Godthelp, J., Theeuwes, J. & Verwey, W.B. (1996). *The influence of a Heading Control system on driver workload*. Soesterberg: TNO.
- Dingus, T. A., McGehee, D.V., Manakkal, N., Jahns, S.K., Carney, C. & Hankey, J.M. (1997). Human Factors Field Evaluation of Automotive Headway Maintenance/Collision Warning Devices. *Human Factors*, 39(2), 216-229.
- Donges, E. (1978). Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 24(3), 98-112.
- Enigk, H. P., K. (2003). *Ermittlung von Assistenzwünschen von Fahrern mit Hilfe der Methode Nutzer-Mock-Up*. Paper presented at the Usability Professionals 2003, German Chapter der Usability Professionals Association e.V., Stuttgart.
- Fairclough, S. H., May, A.J. & Carter, C. (1997). The effect of Time Headway Feedback on Following Behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, 29(3), 387-397.
- Fancher, P., Ervin, R., Sayer, J., Hagan, M., Bogard, S., Bareket, Z. et al. (1998). *Intelligent Cruise Control Field Operational Test (final report)* (No. No. DOT HS 808 849). Springfield, Virginia: National Technical Information Service.
- Färber, B. (2006). *(Un)sichtbare Beifahrer - was Autofahrer von Fahrerassistenzsystemen erwarten können*. Paper presented at the 12. DVR-Forum Sicherheit und Mobilität, München.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1995). *Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- Fricke, N. (2008). HMI-design: Warnsignale vs. Alarme - Was brauchen wir wirklich? In VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Ed.), *VDI Berichte (2048)* (S. 387-396). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Fuller, R. (2000). The task-capability interface model of the driving process. *Recherche - Transports - Securite*, 66, 47-57.
- Fuller, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, 37(3), 461-472.
- Fuller, R. (2008). *Recent developments in driver control theory: from task difficulty homeostasis to risk allostasis*. Paper presented at the 4th International Conference on Traffic & Transport Psychology, Washington D.C.
- Gawron, V. J. & Ranney, T.A. (1990). Curve negotiation performance in a driving simulator as a function of curve geometry. *Applied Ergonomics*, 21(1), 33-38.
- Godley, S., Triggs, T.J. & Fildes, B.N. (2002). Driving simulator validation for speed research. *Accident Analysis and Prevention*, 34, 589-600.
- Green, M. (2000). How long does it take to stop? Methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation Human Factors*, 2(3), 195-216.
- Griffiths, P. G. & Gillespie, R.B. (2005). Sharing control between Humans and Automation using Haptic Interface: Primary and Secondary Task Performance Benefits. *Human Factors*, 47(3), 574-590.
- Groeger, J. A. (1998). *Close, but no cigar: assessment of a headway warning device*. Paper presented at the IEEE Colloquium on Automotive Radar and Navigation Techniques.
- Gupta, N., Bisantz, A.M. & Singh, T. (2002). The effects of adverse condition warning system characteristics on driver performance: an investigation of alarm signal type and threshold level. *Behavior & Information Technology*, 21(4), 235-248.
- Hacker, W. (1998). Einfluss der Mensch-Maschine-Funktionsteilung auf die psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. In *Allgemeine Arbeitspsychologie*. Bern: Hans Huber.

- Hancock, P. A., Pew, R.W., VanCott, H.P., Woods, D., Sheridan, T.B. & Price, H.E. (1997). *Resolved: Allocating functions between humans and machines can never be done on a rational basis*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society.
- Hart, S. G. & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research. In: P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 139-183). Amsterdam: North-Holland.
- Heller, O. (1981). Zur Quantifizierung psychischer Anspannung. In L. Tent (Hrsg.), *Erkennen, Wollen, Handeln: Beiträge zur Allgemeinen und Angewandten Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Heller, O. (1982). Theorie und Praxis des Verfahrens der Kategorienunterteilung (KU). In O. Heller (Hrsg.), *Forschungsbericht 1981* (S. 1-15). Würzburg: Psychologisches Institut der Universität Würzburg.
- Hjälmdahl, M. & Thorslund, B. (2006). *An adaptive frontal collision warning system on slippery roads*. Paper presented at the Greener, Safer And Smarter Road Transport For Europe. TRA – Transport Research Arena Europe, Goeteborg, Sweden.
- Hoc, J.-M., Mars, F., Milleville-Pennel, I., Jolly, E., Netto, M. & Blosseville, J.-M. (2006). Human-Machine cooperation in car driving for lateral safety: delegation and mutual control. *Le Travail Humain*, 69, 153-182.
- Hoedemaker, M., Andriessen, J.H.T.H., Wiethoff, M. & Brookhuis, K. (1998). Effects of driving style on headway preference and acceptance of an adaptive cruise control (ACC). *Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences*, 22(2), 29-36.
- Hoedemaker, M. & Brookhuis, K. A. (1998). Behavioural adaptation to driving with an adaptive cruise control (ACC). *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 1(2), 95-106.
- Hollnagel, E. & Källhammer, J.-E. (2003). *Effects of a Night Vision Enhancement System (NVES) on Driving: Results from a Simulator Study*. Paper presented at the International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design.
- Horst, R. v. d. (2007). Time-related measures for modeling risk in driver behaviour. In P. Cacciabue (Ed.), *Modelling driver behaviour in automotive environments: Critical issues in driver interactions with Intelligent Transport Systems* (pp. 235-252). London: Springer-Verlag.
- Inagaki, T. (2003). Adaptive Automation: Sharing and trading of control. In E. Hollnagel (Ed.), *Handbook of Cognitive Task Design*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Ishida, S., Tanaka, J., Kondo, S. & Kawagoe, H. (2002). *Evaluation of Driver Assistance System*. Paper presented at the 7th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Turin, Italy.
- Janssen, W. & Thomas, H. (1997). In-vehicle collision avoidance support under adverse visibility conditions. In Y. I. Noy (Ed.), *Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Kaber, D. B. & Endsley, M.R. (2003). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1-40.
- Katteler, H. (2003). *Acceptance of Lane Departure Warning Assistance (LDWA) Systems*. Nijmegen: ITS.
- Knappe, G., Keinath, A. & Meinecke, C. (2006). *Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltegüte im Kontext der Fahrsimulation*. MMI-Interaktiv, Zugriff am 23.01.2007 <http://www.mmi-interaktiv.de/de/fruehere-ausgaben/ausgabe-11/empfehlungen-fuer-die-bestimmung-der-spurhalteguete-im-kontext-der-fahrsimulation.html>

- König, W., Weiß K. -E. & Mayser, Ch. (2003). *S.A.N.T.O.S - Ein Konzept für integrierte Fahrerassistenzsysteme*. Paper presented at the VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Elektronik im Fahrzeug, Baden-Baden.
- Kozak, K., Pohl, J., Birk, W., Greenberg, J., Artz, B., Blommer, M. et al. (2006). *Evaluation of Lane Departure Warnings for drowsy drivers*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting.
- Kraftfahrt-Bundesamt. (2007). *Pkw-Neuzulassungen nach Segmenten und Modellreihen*. Zugriff Juni 2007 <http://www.kba.de>
- Kramer, A. F., Cassavaugh, N., Horrey, W.J., Becic, E. & Mayhugh, J.L. (2007). Influence of age and proximity warning devices on collision avoidance in simulated driving. *Human Factors*, 49(5), 935-949.
- Land, M. F. & Lee, D.N. (1994). Where we look when we steer. *Nature*, 377, 339-340.
- LeBlanc, D. J., Sayer, J., Winkler, C., Ervin, R., Bogard, S., Devonshire, J. et al. (2006). *Road Departure Crash Warning System Field Operational Test: Methodology and results* (No. UMTRI-2006-9-1). Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute, sponsoring Agency: NHTSA.
- Lee, J. D., McGehee, D.V., Brown, T.L. & Reyes, M.L. (2002). Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high-fidelity driving simulator. *Human Factors*, 44(2), 314-334.
- Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Hrsg.), *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie, Enzyklopädie der Psychologie C, Serie I, Band 5* (Kapitel 15). Göttingen: Hogrefe.
- Mars, F. (2008). Driving around bends with manipulated eye-steering coordination. *Journal of Vision*, 8(11), 1-11.
- Miller, C. A. & Parasuraman, R. (2007). Designing for flexible interaction between Humans and Automation: Delegation interfaces for Supervisory Control. *Human Factors*, 49(1), 57-75.
- Navarro, J. Mars, F. & Hoc, J.-M. (2007). Lateral Control Assistance for car drivers: A comparison of motor priming and warning systems. *Human Factors*, 49(5), 950-960.
- Noecker, G., Mezger, K. & Kerner, B. (2005). *Vorausschauende Fahrerassistenzsysteme*. Paper presented at the Workshop on Driver Assistance Systems, Walting, Germany.
- Older, M. T., Waterson, P.E. & Clegg, C.W. (1997). A critical assessment of task allocation methods and their applicability. *Ergonomics*, 40(2), 151-171.
- Östlund, J., Nilsson, L., Carsten, O., Merat, N., Jamson, H., Jamson, S. et al. (2004). *HASTE Deliverable 2 - HMI and safety-related driver performance*. (Project GRD1/2000/25361 S12.319626). European Commission.
- Parasuraman, R., Sheridan, T.B. & Wickens, C.D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A*, 30(3).
- Parasuraman, R. & Wickens, C.D. (2008). Humans: Still vital after all these years of automation. *Human Factors*, 50(3).
- Paulmier, G. (2004). Fog luminance evaluation in daytime. *Transportation Research Record*, 1862, 82-88.
- Piechulla, W. (2001). *Psychophysiologie I: Herzratenindikatoren*. Zugriff am 03.09.2007 www.psychologie.uni-regensburg.de/Zimmer/trafficresearch/WLP/Herzratenindikatoren.pdf
- Rabe, M. (2004). *Zukünftige Mobilität*. Paper presented at the Automatisierungs- und Assistenzsysteme für Transportmittel: Möglichkeiten, Grenzen, Risiken, Braunschweig.
- Riley, V. (2000). *Developing a pilot-centered autoflight interface*. Paper presented at the 2000 World Aviation Conference, San Diego.

- Rimini-Doering, M., Altmueller, T., Ladstaetter, U. & Rossmeier, M. (2005). *Effects of Lane departure Warning on drowsy drivers' performance and state in a simulator*. Paper presented at the 3rd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design.
- Rumar, K. (1990). The basic driver error: late detection. *Ergonomics*, 33(10), 1281-1290.
- Salvucci, D. D. & Gray, R. (2004). A two-point visual control model of steering. *Perception*, 33, 1233-1248.
- Schierge, F. (2005). *Welche Fahrerassistenz wünschen sich die Fahrer? Methoden und Ergebnisse zur Nutzerakzeptanz von FAS aus der Forschungsinitiative INVENT*. Paper presented at the Fahrer im 21. Jahrhundert, Der Mensch als Fahrer und seine Interaktion mit dem Fahrzeug, VDI, Düsseldorf.
- Schumann, J., Lowenau, J. & Naab, K. (1996). The active steering wheel as a continuous support for the driver's lateral control task. In A. G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles* (Vol. V). Amsterdam: Elsevier.
- Schweibenz, W. & Thissen, F. (2003). *Qualität im Web: benutzerfreundliche Webseiten durch Usability Evaluation*. Berlin: Springer.
- Sheridan, T. B. & Parasuraman, R. (2006). Human-automation interaction. In R. S. Nickerson (Ed.), *Reviews of Human Factors and Ergonomics*. Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society.
- Shinar, D. & Schechtman, E. (2002). Headway feedback improves intervehicular distance: A field study. *Human Factors*, 44(3).
- Spiegel-Institut. (2003). *Marktstudie Sicherheitssysteme, Deutschland. Kennen Autofahrer ihre Schutzengel?* Zugriff Juli 2007 <http://www.spiegel-institut.de/de/publikationen/sicherheitssysteme.html>
- Stanton, N. A., Young, M.S. (1998). Vehicle automation and driving performance. *Ergonomics*, 41(7), 1014-1028.
- Stanton, N. A., Young, M.S., Walker, G.H., Turner, H. & Randle, S. (2001). Automating the driver's control tasks. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5(3), 221-236.
- Stöbe, M. & Schröder, M. (2003). *Entwicklung neuer Fahrerassistenzsysteme mit Virtual Reality*. Paper presented at the 6. Wissenschaftstage FhG-IFF Magdeburg, Juni 2003, Magdeburg.
- Suzuki, K. & Jansson, H. (2003). An analysis of driver's steering behaviour during auditory or haptic warnings for the design of lane departure warning system. *JSAE Review*, 24, 65-70.
- Tabachnick, B. & Fidell, L. (2001). *Computer-assisted research design and analysis*. Boston: Pearson.
- Tan, H.-S. & Steinfeld, A. (2000). *The importance of gain in driver assisted lateral control*. Paper presented at the 10th ITS Meeting, Washington D.C.
- Tanida, K. (2000). Reducing the effects of driving fatigue with the adoption of a lane following assistance system. *JSAE Review, Technical Notes*, 21, 241-263.
- Tijerina, L., Jackson, J.L., Pomerleau, D.A., Romano, R.A. & Perterson, A. (1995). *Run-Off-Road collision avoidance countermeasures using IVHS countermeasures*. Pittsburgh: Robotics Institute, Carnegie Mellon University.
- Timpe, K.-P. & Kolrep, H. (2000). Das Mensch-Maschine-System als interdisziplinärer Gegenstand. In K.-P. Timpe, Jürgensohn, T., Kolrep, H. (Ed.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik*. Düsseldorf: Symposion Publishing.
- Tönnis, M., Lange, C. & Klinker, G. (2007). *Visual longitudinal and lateral driving assistance in the head-up display of cars*. Paper presented at the 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR.

- Törnros, J., Nilsson, L., Östlund, J. & Kircher, A. (2002). *Effects of ACC on Driver Behaviour, Workload and Acceptance in relation to minimum Time Headway*. Paper presented at the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems, Chicago.
- Van der Hulst, M., Meijman, T. & Rothengatter, T. (1999). Anticipation and the adaptive control of safety margins in driving. *Ergonomics*, 42(2), 336-345.
- Van Winsum, W. & Godthelp, H. (1996). Speed choice and steering behavior in curve driving. *Human Factors*, 38(3), 434-441.
- Vogel, K. (2003). A comparison of headway and time to collision as safety indicators. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 427-433.
- Vollrath, M., Briest, S. & Oeltze, K. (2010). *Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten* (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik Heft F 74). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Vollrath, M., Briest, S., Schießl, C., Drewes, J. & Becker, U. (2006). *Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit* (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik Heft F 60). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Vollrath, M. & Totzke, I. (2005). Secondary tasks while driving effects and countermeasures. *Advances in Transportation Studies an International Journal*, 67-80.
- Wandke, H. (2004). Ingenieurpsychologie oder Ingenieurspsychologie. In C. Steffens, M. Thüning & L. Urbas (Hrsg.), *Entwerfen und Gestalten. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme*. ZMMS Spektrum, Band 18. Auszug aus Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22, Nr. 16, S. 538- 553, Düsseldorf: VDI Verlag.
- Wandke, H. (2005). Assistance in human-machine interaction: a conceptual framework and a proposal for a taxonomy. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(2), 129-155.
- Werneke, J. (2006). *Adaptive Fahrerassistenz - eine Akzeptanz- und Bedarfsanalyse*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Lüneburg.
- Wickens, C. D. & Hollands, J.G. (2000). *Engineering psychology and human performance* (Vol. 3.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Wilde, G. J. S. (1982). The theory of risk homeostasis: implications for safety and health. *Risk Analysis*, 2, 209-225.
- Wilson, B. (2008). *Safety benefits of a roadway departure crash warning system*. Paper presented at the Transportation Research Board, 87th Annual Meeting, Washington.
- Yonas, A. & Zimmerman, L. (2006). *Improving the ability of drivers to avoid collisions with snowplows in fog and snow* (No. MN/RC-2006-29). St. Paul: Minnesota: Department of Transportation.
- Yoshida, H., Mouri, H., Sato, S. & Nagai, M. (2006). A study on vehicle lane departure delay system. *Review of Automotive Engineering*, 27, 273-278.
- Young, K. L., Regan, M.A., Triggs, T.J., Tomasevic, N., Stephan, K. & Mitsopoulos, E. (2007). Impact on car driving performance of a following distance warning system: findings from the Australian Transport Accident Commission SafeCar Project. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 11(3), 121-131.
- Young, M. S. & Stanton, N.A. (1997). Automotive Automation: Investigating the impact in drivers' Mental Workload. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 1(4), 325-336.
- Young, M. S. & Stanton, N.A. (2007). Back to the future: Brake reaction times for manual and automated vehicles. *Ergonomics*, 50(1), 46-58.